

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

TESE

**Absorção e Metabolismo de Nitrogênio por Arroz
em Diferentes Agroecossistemas sob Disponibilidade
Sazonal de N-NO_3^-**

Ana Maria Silva de Araujo

2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**ABSORÇÃO E METABOLISMO DE NITROGÊNIO POR ARROZ EM
DIFERENTES AGROECOSSISTEMAS SOB DISPONIBILIDADE
SAZONAL DE N-NO_3^-**

ANA MARIA SILVA DE ARAUJO

Sob a Orientação do Professor
Manlio Silvestre Fernandes

e Co-orientação dos Professores
Sonia Regina de Souza

e

Altamiro Souza de Lima Ferraz Junior

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2011

633.18

A663a

T

Araújo, Ana Maria Silva de, 1964-

Absorção e metabolismo de nitrogênio por arroz em diferentes agroecossistemas sob disponibilidade sazonal de N-NO₃ / Ana Maria Silva de Araujo - 2011.

204 f.: il.

Orientador: Manlio Silvestre Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 183-204.

1. Arroz - Cultivo - Teses. 2. Solos - Teor de nitrogênio - Teses. 3. Nitrogênio - Fixação - Teses. 4. Solos - Absorção e adsorção - Teses. I. Fernandes, Manlio Silvestre, 1939-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

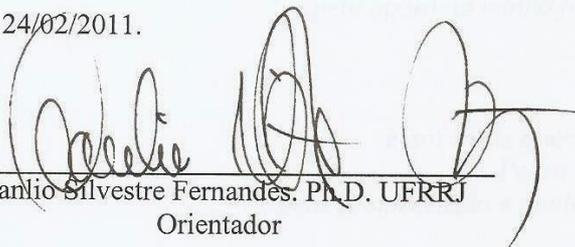
É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

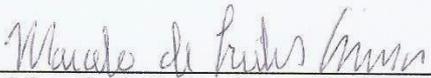
ANA MARIA SILVA DE ARAUJO

Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências** em Agronomia.

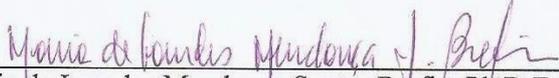
TESE APROVADA EM 24/02/2011.



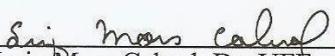
Manoel Silvestre Fernandes. Ph.D. UFRRJ
Orientador



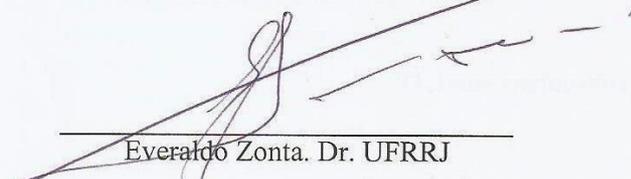
Marcelo de Freitas Lima. Dr. UFRRJ



Maria de Lourdes Mendonça Santos Brefin. Ph.D Embrapa Solos



Luiz Mors Cabral. Dr. UFF



Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ

DEDICATÓRIA

*Á minha família,
em especial aos meus pais Hilton e Carmelita,
e irmãos
pelo apoio na minha formação acadêmica.*

*Ao meu esposo Joel
e aos meus queridos e amados filhos
Pedro Henrique e Danielle
pela compreensão e apoio na longa ausência.*

Dedico

“O Amor ensina-nos todas as virtudes”

Plutarco

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por tudo que me possibilitou e que sempre iluminou meus caminhos;

Aos meus queridos e amados pais, Hilton e Carmelita pelo amor incondicional, por tudo que tenho por tudo que sou especialmente a minha maravilhosa mãe que sempre me ajuda a evoluir, por suas ricas contribuições, apoio e incentivo, compreensão, e confiança principalmente nos momentos mais difíceis;

Ao meu querido esposo Joel e aos meus queridos e amados filhos Pedro Henrique e Danielle, pelo amor infinito, carinho, apoio e compreensão principalmente por superarem com muita calma a minha ausência.

Aos queridos irmãos, em especial a Ana Lourdes, Hilca, Rosa e Hiltinho pelo apoio e ajuda prestada;

A CAPES e ao CNPq pela bolsa e pelo fomento;

À Universidade Estadual do Maranhão pela minha liberação;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, e em especial ao Curso de Pós Graduação em Agronomia - Ciência do Solo e os seus professores pela amizade, formação e conhecimentos.

Ao Professor, amigo e orientador Manlio Silvestre Fernandes, pelo exemplo de competência e profissionalismo, orientação, confiança, atenção, dedicação, paciência e amizade.

Aos Professores e amigos Sonia Regina de Souza e Altamiro Souza de Lima Ferraz Junior pela co-orientação, profissionalismo, atenção e amizade.

À professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, pela amizade, compreensão e ensinamentos.

Aos Agricultores do Assentamento do INCRA Tico Tico que colaboraram cedendo as áreas para realização do presente estudo;

Ao professor Emanuel por ter cedido prontamente parte do seu experimento em aléias para a implantação dessa pesquisa;

Aos fiéis amigos professores da UEMA Gusmão e Raimunda pela convivência, incentivo e confiança;

À amiga e ex-orientada Fabíola pelas valiosas contribuições na elaboração desse trabalho;

Aos professores e amigos do Departamento de Engenharia Agrícola do Curso de Agronomia da UEMA, pela confiança e incentivo e em especial ao professor Ronaldo Menezes pela ajuda com os gráficos e dados climatológicos;

Aos amigos e professores da UEMA Nóbrega e Enedias pela ajuda nas intermináveis análises de nitrogênio; e ao professor Moises e Maria José pela ajuda nas análises estatísticas;

Aos amigos do laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Mariam, Carlos Bucher, Leandro, Mônica, Marcos, Osmário, e Cássia;

Aos inesquecíveis e queridos amigos do Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo da UFRRJ em especial a Rosa, Anita, Andréia, Mirian, Natália, Carlos, Juliano, Patrick, Willian, Rodolfo, Waldemir, Hugo, Fábio e Pedro Paulo.

Aos amigos funcionários do departamento de solos Roberto, Luciene e Marquinhos.

Aos funcionários da UEMA Penha, Dionísio, João, Josael e ao estagiário Leonis pelo apoio nos trabalhos de campo e análises laboratoriais;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse trabalho.

Muito obrigada!!!

BIOGRAFIA

Nascida em 3 de agosto de 1964, na cidade de São Luis, Estado do Maranhão, possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA (1986) e mestrado em Agronomia - Ciências do Solo pela Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE (1994). Ingressou na carreira do magistério superior como professora substituta em Novembro de 1987 na Universidade Estadual do Maranhão. Em Julho de 2000, foi aprovada em concurso público para professor na área de solos para a mesma universidade, e como docente orientou alunos em trabalhos de monografia e iniciação científica, e exerceu funções administrativas. Atualmente é professora assistente do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Maranhão. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Em Março de 2007 ingressou no programa de pós-graduação ao nível de doutorado em Agronomia - Ciência do Solo junto à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, na área de concentração em Nutrição Mineral de Plantas obtendo o título de doutora em Fevereiro de 2011.

RESUMO GERAL

ARAÚJO, Ana Maria Silva de. **Absorção e metabolismo de nitrogênio por arroz em diferentes agroecossistemas sob disponibilidade sazonal de N-NO_3^-** . 2011. 204f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

O clima tropical úmido, característico de grande parte do Nordeste, Centro-Oeste e parte do Sudeste do Brasil, apresenta de forma marcante uma estação chuvosa e outra seca. Durante a estação seca, a evapotranspiração proporciona movimentos capilares de água no solo coincidentes com o acúmulo superficial de NO_3^- . Esse conteúdo de nitrato no solo pode variar com a sazonalidade de variáveis ambientais, tais como a temperatura e a precipitação, assim influenciando o processo de assimilação, o consumo e o armazenamento desse íon pelas plantas. Portanto, no início do período chuvoso ocorre grande disponibilidade de NO_3^- no solo e este fenômeno tem sido denominado como “flush” de nitrato. O objetivo do estudo foi o de avaliar a possibilidade de ocorrência do sincronismo entre esse “flush” de N-NO_3^- e a absorção de N por duas variedades de arroz diferentes quanto à capacidade de armazenamento e remobilização de N em condições de campo. Para tal, foram instalados dois experimentos por dois anos consecutivos nos municípios de São Luis e Miranda do Norte, Estado do Maranhão em três diferentes sistemas de manejo: cultivo em aléias, roça no toco (derrubada e queima) e sistema convencional. As espécies de leguminosas utilizadas foram: *Leucaena leucocephala* (leucena); a *Clitoria fairchildiana* (sombreiro) e a *Acacia mangium* (acácia), combinadas entre si, nos seguintes tratamentos: Sombreiro + Leucena (S + L); Acácia + Leucena (A+ L) e Testemunha, sem leguminosas. Em todos os sistemas de manejo adotou-se o delineamento experimental de blocos casualizados em parcelas sub-subdivididas com quatro repetições. Os parâmetros avaliados foram a atividade da nitrato redutase, o metabolismo do N na planta, o fluxo sazonal de NO_3^- no solo, produção de biomassa e a produtividade do arroz. De acordo com resultados, a adição de biomassa das leguminosas não causou grandes alterações nas características do solo tanto em São Luis quanto no município de Miranda do Norte. No solo as maiores alterações foram observadas para o a área queimada e a área mantida em sistema convencional. As aléias de Acácia + Leucena influenciaram de forma significativa a maioria das variáveis avaliadas apresentando-se na maioria das vezes superiores as aléias de Sombreiro + Leucena e a testemunha. No geral, a atividade da nitrato redutase foi baixa em todos os sistemas de manejo. No entanto, constatou-se variação na atividade da enzima em função época de amostragem. Os resultados mostraram que as maiores reduções nos teores de NO_3^- foram observados nas bainhas, indicando ser este o local preferencial para a remobilização de N em arroz. A variedade tradicional apresentou sempre valores mais baixos de atividade da NR e acumulou mais NO_3^- comparada com a variedade melhorada. Houve variações sazonais no teor de NO_3^- e NH_4^+ no solo, porém os maiores acúmulos de NH_4^+ ocorreram na camada superficial e início da estação chuvosa. A produtividade do arroz foi baixa, porém diferiu de forma significativa entre os sistemas de manejo.

Palavras - chave: Nitrato redutase. Fluxo sazonal de NO_3^- . *Oriza sativa* L.

GENERAL ABSTRACT

ARAÚJO, Ana Maria Silva de. **Absorption and metabolism of nitrogen for rice in areas under seasonal availability of N-NO₃⁻**. 2011. 204p. Thesis (Doctor Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

The wet tropical climate, characteristic of great part of the Northeast, Midwest and part of the Southeast regions of Brazil, present markedly a rainy season and a dry one. During the dry season, the evapotranspiration provides capillary movements of water in soil coincidentally with the superficial accumulation of NO₃⁻. The amount of nitrate in the soil may vary with the seasonality of environmental variables, such as the temperature and precipitation, thus influencing the assimilation process, the consumption and the storage of that ion by the plants. This way, in the beginning of the rainy period there is a great availability of NO₃⁻ in the soil. This phenomenon has been identified as nitrate flush. The objective of the study was to evaluate the possibility of occurrence of synchronism among N-NO₃⁻ flush and absorption of N by two rice varieties dissimilar in the storage capacity and remobilization of N in field conditions. Two experiments were installed in two consecutive years in the town of São Luis and in Miranda do Norte, Maranhão State. The areas had three different management systems: alley cropping, slash-and-burn agriculture (cutting down and burning), and conventional system. The legume trees used were: *Leucaena leucocephala* (Leucena); *Clitoria fairchildiana* (Philippine pigeonwings); and *Acacia mangium* (acacia). They were combined among themselves, in the following treatments: Philippine pigeonwings + Leucena (S + L); Acacia + Leucena (A + L), and a reference plot, without legume trees. The experimental design was of random blocks in sub-subdivided plots with four repetitions. The appraised parameters were: nitrate reductase (NR) activity, the plant N metabolism, the mineralization of N in soil, the seasonal flow of NO₃⁻ in soil, biomass production, and the rice productivity. According to the results, the addition of biomass from legume trees did not cause great alterations in the soil characteristics, in São Luis and in the Miranda do Norte areas. In the soil the largest changes were observed for the burnt area and the one with conventional system. The Acacia + Leucena alley cropping influenced significantly most of evaluated variables, and in most of the time they showed superior to Sombreiro + Leucena alley and the testimony. In general, the activity of the nitrate reductase was low, for all systems. However, a variation was verified in the enzyme activity according to sampling period. The results showed the largest reductions in NO₃⁻ in the stems, indicating this is the preferential plant part for N remobilization in rice. The traditional variety always presented lower values of NR activity, and it accumulated more NO₃⁻ compared with the improved variety. There were seasonal variations in the levels of NO₃⁻ and NH₄⁺ in the soil; however the largest accumulations of NH₄⁺ occurred in the superficial layer and in the beginning of the rainy season. The rice productivity was low; however it differed significantly among the management systems.

Keywords: Nitrate reductase. Seasonal flow of NO₃⁻. *Oriza sativa* L.

LISTA DE ABREVIACOES E SMBOLOS

A+L	Acácia + Leucena
AMT	Família de gene para os transportadores de amônio
ANR	Atividade da Nitrato redutase
ATP	Trifosfato de adenosina
cHATS	Sistema de Transporte de Alta Afinidade constitutivo
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Científicos
CTA	Capacidade de Troca Aninica
CTC	Capacidade de Troca Catinica
DDA	Dias depois da antese
EC	Massa equatorial continental
EUN	Eficiência de Uso de Nitrogênio
Fd	Ferredoxina
GDH	Glutamato desidrogenase
GOGAT	Glutamato sintase
GS	Glutamina sintetase
HATS	Sistema de Transporte de Alta Afinidade (High Affinity Transport System)
H ⁺ -PPase	Pirofosfatase translocadora de prótons
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICG	ndice de Colheita de Grão
ICN	ndice de Colheita de Nitrogênio
iHATS	Sistema de Transporte de Alta Afinidade induzíveis
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LATS	Sistema de Transporte de Baixa Afinidade (Low Affinity Transport System)
MOS	Matéria Orgânica do Solo
NADH	Nicotinamida-adenina-dinucleotídeo reduzida
NADPH	Nicotinamida-adenina-dinucleotídeo fosfato reduzida
NiR	Nitrito Redutase
NR	Nitrato Redutase
NRT	Família de gene para os transportadores de nitrato
P-H ⁺ ATPase	P-H ⁺ - ATPase de plasmalema P-H ⁺ - ATPase de plasmalema
PRNT	Poder Relativo de Neutralizao Total
S+L	Sombreiro + Leucena
TM	Massa tropical marítima
V-H ⁺ -ATPase	V-H ⁺ -ATPase de vacúolo
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** – Resultado da análise química do solo antes da instalação do experimento, no sistema em aléias, no município de São Luis-MA no primeiro e segundo ano do experimento.....33
- Tabela 2.** – Resultado da análise física do solo antes da instalação do experimento, no sistema em aléias, no município de São Luis-MA.....34
- Tabela 3.** – Produção de massa fresca e seca (kg.ha⁻¹) dos ramos e folhas das leguminosas arbóreas utilizadas no sistema de cultivo em aléias nos dois anos consecutivos do experimento, no município de São Luis – MA.47
- Tabela 4.** – Teor de Nitrogênio total, carbono e relação C/N dos ramos e folhas das leguminosas arbóreas utilizadas no sistema de cultivo em aléias em dois anos consecutivos, no município de São Luis-MA.47
- Tabela 5.** – Valores médios de massa fresca e seca das folhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em sistema de aléias no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.49
- Tabela 6.** – Valores médios de massa fresca e seca das bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em sistema de aléias no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.50
- Tabela 7.** – Valores médios de massa fresca e seca das folhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em sistema de aléias no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.51
- Tabela 8.** – Valores médios de massa fresca e seca das bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em sistema de aléias no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.52
- Tabela 9.** – Atividade da nitrato redutase nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de manejo com e sem aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.57
- Tabela 10.** – Atividade da nitrato redutase nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de manejo com e sem aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.....58
- Tabela 11.** – Valores das correlações de Pearson entre a atividade da nitrato redutase e o teor de nitrato, amônio, N-amino e açúcar solúvel nas folhas e bainhas de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009.64

- Tabela 12.** – Teor de N-NH₄⁺ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008..... 67
- Tabela 13.** – Teor de N-NH₄⁺ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009..... 68
- Tabela 14.** – Valores das correlações de Pearson entre o teor de Amônio, a atividade da nitrato redutase e os teores de nitrato, N-amino e açúcar solúvel nas folhas e bainhas de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009..... 72
- Tabela 15.** – Teor de N-NO₃⁻ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008..... 74
- Tabela 16.** – Teor de N-NO₃⁻ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009..... 75
- Tabela 17.** – Valores das correlações de Pearson entre os teores de nitrato, a atividade da nitrato redutase e o teor de amônio, N-amino e açúcar solúvel nas folhas e bainhas de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009..... 79
- Tabela 18.** – Teor de N-amino nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008..... 81
- Tabela 19.** – Teor de N-amino nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009..... 82
- Tabela 20.** – Valores das correlações de Pearson entre os teores de N-amino, ANR, teores de amônio, nitrato, açúcar solúvel, N-protéico nas folhas e bainhas, além da proteína bruta, peso de 1000 grãos e produção de grãos das variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009..... 86
- Tabela 21.** – Teor de açúcar solúvel nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008..... 88
- Tabela 22.** – Teor de açúcar solúvel nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009..... 89
- Tabela 23.** – Valores das correlações de Pearson entre os teores de Açúcar solúvel, ANR, teores de amônio, nitrato, e N-aminol, nas folhas e bainhas, das variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, anos de 2008 e 2009. 93
- Tabela 24.** – Teor de N-protéico nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008..... 95

Tabela 25. – Teor de N-protéico nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.....	96
Tabela 26. – Valores das correlações de Pearson entre o teor de N-protéico, teor de proteína bruta e produção de grãos nas folhas e bainhas de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009.....	98
Tabela 27. – Teor de N-total da parte aérea (Folha+bainha) em variedades locais e melhoradas de arroz, cultivadas com e sem em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) nos anos de 2008 e 2009.....	100
Tabela 28. – Teor de N-total da parte aérea na maturidade de variedades locais e melhoradas de arroz, cultivadas com e sem aléias, no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009.....	103
Tabela 29. – Produtividade (kg.ha-1) de grãos de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de aléias, em dois anos consecutivos (2008 e 2009) no município de São Luis – MA.	106
Tabela 30. – Valores médios de peso fresco e seco de panícula, peso seco de grãos e peso de 1000 grãos de variedades locais e melhoradas de arroz, cultivadas em sistema de cultivo em aléias no município de São Luis – MA, em dois anos consecutivos (2008 e 2009).	107
Tabela 31. – Índice de colheita de grão, Índice de colheita de N e relação ICG/ICN de variedades locais e melhoradas de arroz, cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis-MA, nos anos de 2008 e 2009.	109
Tabela 32. – Resultado da análise química do solo antes da instalação do experimento, nas áreas com sistemas em aléias, roça no toco e cultivo convencional no município de Miranda do Norte-MA no primeiro e segundo ano do experimento.....	126
Tabela 33. – Resultado da análise física do solo antes da instalação do experimento, nas áreas com sistemas em aléias, roça no toco e cultivo convencional no município de Miranda do Norte-MA no primeiro ano do experimento.	127
Tabela 34. – Produção de massa fresca e seca (kg.ha-1), teor de nitrogênio total, carbono e relação C/N dos ramos e folhas do sombreiro utilizado no sistema de cultivo em aléias em dois anos consecutivos, no município de Miranda do Norte – MA.	136
Tabela 35. – Valores médios de massa fresca e seca nas folhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.	137
Tabela 36. – Valores médios de massa fresca e massa seca das bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.	138
Tabela 37. – Valores médios de massa fresca e massa seca das folhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco)	

no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.	138
Tabela 38. – Valores médios de massa fresca e massa seca das bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.	139
Tabela 39. – Atividade da Nitrato Redutase na folha e bainha de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.	140
Tabela 40. – Atividade da Nitrato Redutase na folha e bainha de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.	141
Tabela 41. – Teor de N-NH ₄ ⁺ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.	147
Tabela 42. – Teor de N-NH ₄ ⁺ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.	147
Tabela 43. – Teor de N-NO ₃ ⁻ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.	152
Tabela 44. – Teor de N-NO ₃ ⁻ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.	152
Tabela 45. – Teor de N-amino nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.	156
Tabela 46. – Teor de N-amino nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.	156
Tabela 47. – Teor de Açúcar solúvel nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.	161
Tabela 48. – Teor de Açúcar Solúvel nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e Melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município	

de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.....	161
Tabela 49. – Teor de N-protéico nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.....	165
Tabela 50. – Teor de N-protéico nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.....	165
Tabela 51. – Teor de N-total da parte aérea (folha+bainha) de variedades de arroz (locais e melhoradas) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) nos anos de 2008 e 2009.....	167
Tabela 52. – Teor de N-total da parte aérea na maturidade das variedades de arroz (locais e melhoradas) cultivadas com e sem aléias, no município de Miranda do Norte – MA, durante os anos de 2008 e 2009.	168
Tabela 53. – Produtividade (kg.ha-1) de grãos de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em três sistemas de manejo (aléias, roça no toco e convencional), em dois anos consecutivos (2008 e 2009) no município de Miranda do Norte – MA.	172
Tabela 54. – Valores médios de peso fresco e seco de panícula, peso seco de grãos e peso de 1000 grãos de variedades de arroz (locais e melhoradas) em sistema de cultivo em aléias no município de Miranda do Norte – MA, em dois anos consecutivos (2008 e 2009).	173

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** - Localização do experimento em aléias no município de São Luis-MA. 32
- Figura 2.** - Totais mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar e radiação solar em São Luís-MA no ano de 2008. Fonte dos dados: INPE/CPTEC..... 35
- Figura 3.** - Totais mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar e radiação solar em Luís-MA no ano de 2009. Fonte dos dados: INPE/CPTEC..... 35
- Figura 4.** - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Dezembro de 2007. 42
- Figura 5.** - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Janeiro de 2008. 43
- Figura 6.** - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Novembro de 2008..... 43
- Figura 7.** - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Dezembro de 2008. 44
- Figura 8.** - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Novembro de 2009..... 44
- Figura 9.** - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Dezembro de 2009. 45
- Figura 10.** - Produtividade média de massa fresca e seca (kg.ha-1) de duas variedades de arroz, Três Meses (variedade local) e Bonança (variedade melhorada) cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; e A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis – MA, no ano de 2008. Letras iguais para a mesma época não diferem estatisticamente entre si pelo teste DMS a 5% de probabilidade. 53
- Figura 11.** - Produtividade média de massa fresca e seca (kg.ha-1) de duas variedades de arroz Piauí (variedade local) e IAC-47 (variedade melhorada) cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; e A+L = Acácia + Lucena) no município de São Luis - MA, no ano de 2009. Letras iguais para a mesma época não diferem estatisticamente entre si pelo teste DMS a 5% de probabilidade. 54
- Figura 12.** - Atividade da nitrato redutase nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis- MA, no ano de 2008. Letras iguais entre as variedades dentro de cada sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 59
- Figura 13.** - Atividade da nitrato redutase nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis- MA, no ano de 2009. Letras iguais entre as variedades dentro de cada sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 59
- Figura 14.** - Atividade da nitrato redutase nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Três Meses e Bonança cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro +

Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no município de São Luis - MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2008. 61

Figura 15. - Atividade da nitrato redutase nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no município de São Luis - MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2009. 62

Figura 16. - Atividade da nitrato redutase nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia+Leucena) nas coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grão) no município de São Luis- MA, no ano de 2008. Letras iguais para o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 63

Figura 17. - Atividade da nitrato redutase nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia+Leucena) nas coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no município de São Luis- MA, no ano de 2009. Letras iguais para o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 63

Figura 18. - Teor de N-NH₄⁺ nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias, no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento de grãos) e 60 DDA(maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 69

Figura 19. - Teor de N-NH₄⁺ nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009 Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade 70

Figura 20. - Teor de N-NH₄⁺ nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no ano de 2008. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 71

Figura 21. - Teor de N-NH₄⁺ nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L =Acácia +Leucena) no ano de 2009. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 71

Figura 22. - Teor de N-NO₃⁻ nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 76

- Figura 23.** - Teor de N-NO₃- nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009 Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 77
- Figura 24.** - Teor de N-NO₃- nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no ano de 2008. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade..... 78
- Figura 25.** - Teor de N-NO₃- nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no ano de 2009. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 78
- Figura 26.** - Teor de N-amino nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, em coletadas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 83
- Figura 27.** - Teor de N-Amino nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009 Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 84
- Figura 28.** - Teor de N-amino nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no município de São Luis – MA, no ano de 2008. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade..... 85
- Figura 29.** - Teor de N-amino nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no município de São Luis – MA.,no ano de 2009. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade..... 85
- Figura 30.** - Teor de açúcar solúvel nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, coletadas em três épocas de amostragem – antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2008. Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 90
- Figura 31.** - Teor de Açúcar Solúvel nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, nas coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos)

- nos anos de 2008 e 2009 Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 91
- Figura 32.** - Teor de açúcar solúvel nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia + Leucena) no ano de 2008. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade..... 92
- Figura 33.** - Teor de açúcar solúvel nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A + L = Acácia + Leucena) no ano de 2008. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade..... 92
- Figura 34.** - Teor de N-protéico nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009 Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 97
- Figura 35.** - N-Total da parte aérea (folha +bainha) das variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em sistemas de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis - MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2008. Letras iguais para a mesma época de amostragem dentro de cada sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS 5% de probabilidade..... 101
- Figura 36.** - N-Total da parte aérea (folha +bainha) das variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistemas de manejo com e sem aléias(S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis - MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dosgrãos) no ano de 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem dentro de cada sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS 5% de probabilidade..... 102
- Figura 37.** - Conteúdo de N na parte aérea (folha+bainha e grãos) nas variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis- MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos), no ano de 2008..... 104
- Figura 38.** - Conteúdo de N na parte aérea (folha+bainha e grãos) nas variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis-MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2009..... 105
- Figura 39.** - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, em amostras de solo retiradas no início da estação chuvosa (janeiro de 2008) em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA. Ano 2008. 112
- Figura 40.** - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, em amostras de solo retiradas no final da estação seca e início da estação chuvosa (Novembro e Dezembro) no ano de 2008 em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA. 113
- Figura 41.** - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, em amostras de solo retiradas no final da estação seca e início da estação chuvosa (Novembro e Dezembro) no ano de 2009 em

uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA.	114
Figura 42. - Teores médios de N-NO ₃ ⁻ e N-NH ₄ ⁺ , em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no início da estação chuvosa (Janeiro) no ano de 2008 em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA	115
Figura 43. - Teores médios de N-NO ₃ ⁻ e N-NH ₄ ⁺ , em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no final da estação seca e início da estação chuvosa (novembro e dezembro) no ano de 2008 em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA.	116
Figura 44. - Teores médios de N-NO ₃ ⁻ e N-NH ₄ ⁺ , em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no final da estação seca e início da estação chuvosa (novembro e dezembro) no ano de 2008 em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA.	117
Figura 45. - Umidade do solo, em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no final do período seco e início do período chuvoso em três períodos (A - Janeiro/2008, B - Novembro e Dezembro/ 2008 e Novembro e Dezembro/2009) em uma área cultivada com e sem aléias no município de São Luis – MA.	118
Figura 46. - Localização da área experimental no município de Miranda do Norte – MA...	125
Figura 47. - Totais mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar e radiação solar do município de Itapecuru Mirim-MA no ano de 2008. Fonte dos dados: INPE/CPTEC	129
Figura 48. - Totais mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar e radiação solar em Itapecuru Mirim-MA no ano de 2009. Fonte dos dados: INPE/CPTEC/PROCLIMA e NCEP.	129
Figura 49. - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar do município	133
Figura 50. - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar do município de Itapecuru Mirim-MA em janeiro de 2008.	133
Figura 51. - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar do município de Itapecuru Mirim-MA em novembro de 2008.	134
Figura 52. - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar do município de e Itapecuru Mirim-MA em dezembro de 2008.....	134
Figura 53. - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em Itapecuru Mirim-MA em novembro de 2009.....	135
Figura 54. - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em Itapecuru Mirim-MA em dezembro de 2009.	135
Figura 55. - Atividade da Nitrato Redutase nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2008. Letras iguais para o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.....	142
Figura 56. - Atividade da Nitrato Redutase nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do	

- Norte – MA, no ano de 2009. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5%. 142
- Figura 57.** - Atividade da Nitrato Redutase nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e Roça no Toco) em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2008. Letras iguais para o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade..... 143
- Figura 58.** - Atividade da Nitrato Redutase nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e Roça no Toco) em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009. Letras iguais para o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade..... 143
- Figura 59.** - Atividade da Nitrato Redutase nas folhas e bainhas das variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte-MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2008..... 144
- Figura 60.** - Atividade da Nitrato Redutase nas folhas e bainhas das variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte-MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2009..... 145
- Figura 61.** - Teor de N-NH₄⁺ nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos), nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo Teste de DMS a 5% de probabilidade..... 148
- Figura 62.** - Teor de N-NH₄⁺ nas folhas e bainhas das variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 149
- Figura 63.** - Teor de N-NH₄⁺ nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA no ano de 2008. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 150
- Figura 64.** - Teor de N-NH₄⁺ nas variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 150
- Figura 65.** - Teor de N-NO₃⁻ nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo Teste de DMS a 5% de probabilidade..... 153

- Figura 66.** - Teor de N-NO₃- nas folhas e bainhas das variedades de arroz, Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 154
- Figura 67.** - Teor de N-NO₃- nas variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2008..... 155
- Figura 68.** - Teor de N-NO₃- nas variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 155
- Figura 69.** - Teor de N-amino nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento de grãos)e 60 DDA (maturação de grãos) nos anos de 2008 e 2009..Letras iguais para a mesma época não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 157
- Figura 70.** - Teor de N-amino nas folhas e bainhas das variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento de de grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009.Letras iguais para cada época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% e probabilidade. 158
- Figura 71.** - Teor de N-amino nas variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2008. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 159
- Figura 72.** - Teor de N-amino nas variedades de arroz cultivadas Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009..... 159
- Figura 73.** - Teor de Açúcar Solúvel nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento de grão) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade..... 162
- Figura 74.** - Teor de Açúcar Solúvel nas folhas e bainhas das variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade..... 163
- Figura 75.** - Teor de Açúcar Solúvel nas variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2008. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 164

- Figura 76.** - Teor de Açúcar Solúvel em duas variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 164
- Figura 77.** - Teor de N-protéico nas folhas e bainhas das variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento de grão) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 166
- Figura 78.** - Teor de N-total da parte área (folhas+bainha) nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. 169
- Figura 79.** - Conteúdo de N na parte aérea (folha+bainha e grãos) das variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivada em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento do grão) e 60 DDA (maturação de grãos) no ano de 2008..... 170
- Figura 80.** - Conteúdo de N na parte aérea (folha+bainha e grãos) das variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2009..... 171
- Figura 81.** - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas no início da estação chuvosa (janeiro de 2008) de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte – MA. 174
- Figura 82.** - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas no final da estação seca e início da estação chuvosa de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte – MA no ano de 2008..... 175
- Figura 83.** - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas no final da estação seca e início da estação chuvosa de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte – MA no ano de 2009..... 176
- Figura 84.** - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no início da estação chuvosa (Janeiro) de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte – MA no ano de 2008. 177
- Figura 85.** - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no final da estação seca e início da estação chuvosa (Novembro e Dezembro) de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte – MA no ano de 2008. 178
- Figura 86.** - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no final da estação seca e início da estação chuvosa (Novembro e Dezembro) de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte - MA no ano de 2009. 179

Figura 87. - Umidade do solo em amostras retiradas de diferentes profundidades, em três épocas de amostragem: A - início do período chuvoso (Janeiro/2008), B - final do período seco e início do período chuvoso (Novembro e Dezembro de 2008) e C - final do período seco e início do período chuvoso (Novembro e Dezembro de 2009) de uma área com aléias e outra queimada (roça no toco). 180

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Cultura do Arroz	4
2.2. Disponibilidade de Nitrato em Solos Tropicais Úmidos	9
2.3. Dinâmica e Metabolismo do Nitrogênio nas Plantas Superiores	11
2.4. Absorção de Nitrogênio pelas Plantas	13
2.5. Metabolismo de Nitrato em Plantas Superiores	14
2.5.1. Absorção e transporte de nitrato	14
2.5.2. Transportadores responsáveis pela absorção e transporte de nitrato	16
2.5.3. Assimilação e redução de nitrato	16
2.5.4. Remobilização do nitrato	19
2.6. Disponibilidade de Nitrogênio em Diferentes Agroecossistemas Agrícolas.....	21
3. CAPÍTULO I - ABSORÇÃO, ACÚMULO E REMOBILIZAÇÃO DE N POR VARIEDADES DE ARROZ, CULTIVADAS EM SISTEMA DE MANEJO EM ALÉIAS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUIS – MA.....	27
3.1. RESUMO	28
3.2. ABSTRACT	29
3.3. INTRODUÇÃO.....	30
3.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.4.1. Localização e caracterização da área de estudo.....	32
3.4.2. Clima: temperatura, precipitação média e balanço hídrico	34
3.4.3. Histórico da área experimental	36
3.4.4. Delineamento experimental	37
3.4.5. Variedades estudadas.....	37
3.4.6. Semeadura	37
3.4.7. Corte das leguminosas	38
3.4.8. Amostragem e determinações analíticas no material vegetal.....	38
3.4.9. Parte aérea.....	38
3.4.10. Grãos.....	40
3.4.11. Cálculo dos índices usados na partição de carbono e nitrogênio	41
3.2.12. Amostragem e determinações analíticas de N-NH ₄ ⁺ e N-NO ₃ ⁻ no solo.....	41
3.2.13. Análises estatísticas	45
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
3.5.1. Fitomassa e acúmulo de N das leguminosas no sistema de aléias.....	46
3.5.2. Produção de massa fresca e seca da parte aérea (folhas, bainhas e planta inteira) das variedades de arroz	47
3.5.3. Atividade da nitrato redutase	54
3.5.4. Metabolismo de N em arroz cultivado em sistema de manejo com e sem aléias.....	64
3.5.6. Parâmetros relacionados à produtividade	105
3.5.7. Índice de colheita de grão (ICG)	108
3.5.8. Índice de colheita de nitrogênio (ICN)	108

3.5.9. Razão ICN/ICG	108
3.5.10. Nitrato e amônio no solo	110
3.6. CONCLUSÕES	119
4. CAPÍTULO II - ABSORÇÃO, E METABOLISMO DE N EM VARIEDADES DE ARROZ SOB DIFERENTES AGROECOSSISTEMAS	120
4.1. RESUMO	121
4.3. INTRODUÇÃO	123
4.4. MATERIAL E MÉTODOS	125
4.4.1. Localização e caracterização da área de estudo	125
4.4.2. Clima	128
4.4.3. Histórico da área experimental	129
4.4.4. Delineamento experimental	130
4.4.5. Variedades estudadas	130
4.4.6. Semeadura	130
4.4.7. Corte das leguminosas	131
4.4.8. Coletas	131
4.4.9. Determinações analíticas na planta	131
4.4.10. Determinações analíticas no solo	132
4.4.11. Análises estatísticas	135
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	136
4.5.1. Fitomassa e acúmulo de N no sombreiro em aléias	136
4.5.2. Produção de massa seca da parte aérea (folha, bainha e planta inteira) das plantas de arroz	136
4.5.3. Atividade da nitrato redutase	139
4.5.4. Metabolismo de nitrogênio em arroz em sistema de cultivo em aléias e roça no toco (corte e queima)	146
4.5.6. Produtividade, massa de 1000 grãos e proteína bruta do grão	172
4.5.7. Teor de amônio e nitrato no solo	174
5. CONCLUSÕES	181
6. CONCLUSÕES GERAIS	182
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183

INTRODUÇÃO GERAL

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando uma área aproximada de 148 milhões de hectares e constitui a base da alimentação humana, contribuindo com cerca de aproximadamente 20% e 15% do consumo mundial de energia e de proteína, respectivamente (Kennedy & Burlingame, 2003). O arroz é cultivado nos cinco continentes, tanto em regiões tropicais como temperadas. Na Ásia encontram-se mais de 90% da produção mundial, como também os principais consumidores do cereal. No Brasil, o arroz é uma das principais culturas anuais produzidas, correspondendo de 15-20% do total de grãos colhidos no país com uma produção de 12,8 t.ha⁻¹ (IBGE, 2010). Além de ser cultivado em praticamente quase todos os estados, e consumido por todas as classes sociais.

O Estado do Maranhão é o maior produtor de arroz da região Nordeste, ocupando, hoje, o terceiro lugar em valor de produção no Brasil, sendo superado apenas pelos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Na safra 2010/2011 a participação do Maranhão na produção nacional registra um aumento de 22,4% na produção esperada (IBGE, 2011). A maior parte dessa produção é obtida nos sistemas de cultivo praticados em agricultura familiar ou pelos pequenos produtores, que utilizam um elevado número de cultivares locais.

Por ser largamente difundida por todo o território brasileiro, a cultura do arroz é uma das mais influenciadas por condições climáticas diversas, estando sujeito à grande amplitude de temperaturas, com intensa variabilidade na incidência de radiação solar, principalmente pela variação do fotoperíodo, bem como na disponibilidade hídrica (Garrido, 2007). Além disso, há ocorrência de chuvas com alta intensidade e magnitudes, sendo difícil manter altos níveis de matéria orgânica sobre os solos, devido às altas temperaturas que induzem elevadas taxas de decomposição (Silva & Pasqual, 1999; Bayer, 2004). Vale lembrar ainda que variações climáticas deste porte influenciem também na formação dos solos, implicando diretamente no sistema de cultivo utilizado, como é o caso da cultura do arroz no início da época de chuvas na Baixada Maranhense (Fernandes, 1990).

Nessa região, o período que compreende os meses de dezembro a julho concentra o maior volume das chuvas anuais, ocasionando excedente hídrico e lixiviação de nutrientes, o que compromete a aquisição de nutrientes pelas plantas, em função desses fatores os agricultores semeiam as roças logo no início do período chuvoso (Agritempo, 2005). Além disso, a fase vegetativa do arroz, até cerca de trinta dias após a sua germinação, por volta do mês de fevereiro, sofre com as quedas na intensidade luminosa (Agritempo, 2005).

São comuns nessas áreas sob a influência dessas condições ambientais a presença de solos ácidos e fortemente ácidos, de baixa fertilidade natural e, frequentemente com alta saturação por alumínio (Moraes, 1999). Certamente, o fator da fertilidade mais limitante para a cultura do arroz é a disponibilidade de nitrogênio, o que faz com que despesas com fertilizante nitrogenado impliquem na maior parte dos gastos da produção (Buresh & De Datta, 1991) e em sérios riscos ambientais (Rodrigues & Grazinoli-Garrido, 2005).

O rendimento de grãos das culturas é função do potencial genético do cultivar utilizado, do sistema de manejo e das condições ambientais durante o cultivo, onde se inclui o suprimento dos nutrientes pelo solo (Fageria & Stone, 2003; Gianello & Giasson, 2004). A disponibilidade de nitrogênio às plantas e sua relação com o aumento dos componentes de produtividade são considerados como os fatores que mais influem no rendimento da cultura do arroz (Fageria & Stone, 2003). Embora a adubação nitrogenada possa suprir as necessidades da planta quando o solo não tem esta capacidade, a resposta do arroz a essa prática varia bastante, em função das características do solo, clima e eficiência agronômica de N (Scivittaro & Machado, 2004).

Em solos tropicais, as plantas cultivadas possuem uma forte dependência da fertilização nitrogenada, aplicada principalmente nas formas de NO_3^- e NH_4^+ . O N na forma nítrica é facilmente lixiviado do solo (Rodrigues & Grazinoli-Garrido, 2005), no entanto, nos solos dessa região, em virtude do baixo pH e excesso de alumínio, a forma amoniacal pode surgir pela inibição da nitrificação (Fernandes, 1990). Assim, em certas circunstâncias, o NH_4^+ pode ser a única fonte de nitrogênio mineral para as plantas (Britto et al., 2001). Segundo Fernandes (1990) sob condições do trópico úmido, caracterizado por uma estação que corresponde a um período de seca, seguida de outra com grande intensidade de chuvas, ocorre um fluxo sazonal da disponibilidade de nitrogênio, o que torna necessário, que as plantas cultivadas sejam eficientes na utilização deste nutriente.

O N é amplamente reconhecido como um fator chave no funcionamento dos ecossistemas terrestres determinando o desempenho das plantas e a distribuição das espécies (Schimann, 2008). É o nutriente de maior demanda metabólica pelas plantas sendo fundamental nos processos ecológicos, tais como produtividade e ciclagem de carbono e nutrientes no solo (Vitousek et al., 2002; Tabuchi et al., 2007). Melhorar a eficiência do uso de nitrogênio (EUN) é essencial para reduzir os custos com fertilizantes na produção de plantas e para evitar danos ambientais, com a saturação do ecossistema com fertilizantes e poluição da água (Masclaux-Daubresse et al., 2008).

A eficiência no uso de nitrogênio (EUN) tem sido definida como o rendimento de grãos por unidade de N disponível no solo (Lea & Azevedo, 2006) e esta EUN pode ser dividida em dois processos: eficiência na absorção, que é a habilidade da planta em remover o N do solo normalmente presente nas formas de NO_3^- e NH_4^+ ; e eficiência na utilização, que é a habilidade da planta em transferir o N para o grão, onde predomina na forma de proteínas.

Atualmente, os esforços da pesquisa para aumentar a eficiência na utilização de nitrogênio pelas plantas estão voltados, principalmente, aos estudos da eficiência das diferentes enzimas e suas isoformas envolvidas no ciclo do N na planta e à identificação dos transportadores de nitrogênio presentes na membrana plasmática das células. A manipulação dos transportadores de nitrato e amônio abre uma perspectiva de atuar-se diretamente no processo de absorção do nitrogênio pela planta. Para tanto, são necessários o isolamento, a identificação, a caracterização e a clonagem dos genes responsáveis pela expressão dos transportadores de alta afinidade para NO_3^- e NH_4^+ e transportadores de baixa afinidade para NO_3^- (Crawford, 1995; Huang et al., 1996; Touraine & Glass, 1997; Von Wirén et al., 1997). A perspectiva é que esses conhecimentos possam ser futuramente utilizados em programas de melhoramento genético, visando ao desenvolvimento de genótipos mais eficientes na utilização do nitrogênio disponível no solo.

Trabalhos realizados anteriormente pelo grupo de pesquisa de nutrição mineral de plantas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro demonstram que um grupo de variedades locais de arroz, tradicionalmente cultivadas no estado do Maranhão por pequenos agricultores, apresenta alta eficiência na utilização de nitrogênio quando comparada a variedades melhoradas. Esses germoplasmas tradicionais, com sua grande variabilidade genética, constituem fontes de genes de inestimável valor para os programas de melhoramento de arroz no País (Fonseca et al., 1982). Assim, torna-se importante o estudo dessas variedades locais, a fim de se obter mecanismos de tolerância a estresses ambientais (como déficit hídrico e Al^{+3}) e eficiência de uso de nutrientes (Souza et al., 1998).

Segundo Souza. (1995) variedades locais de arroz do estado do Maranhão são adaptadas a condições de baixa disponibilidade de N e, portanto, menos dependentes de suplementação externa desse nutriente que variedades melhoradas. A maior eficiência dessas variedades pode em parte ser devido à capacidade de absorção, assimilação, acúmulo e remobilização do N das partes vegetativas para os grãos. Rodrigues et al. (2004) atribuíram à elevada eficiência do uso de N da variedade local de arroz Piauí quando comparada a IAC-47

à grande capacidade que essa cultivar apresentou para armazenar o N absorvido nos estágio inicial de crescimento e remobilizá-lo no final do ciclo para a síntese de proteínas no grão.

A avaliação da capacidade de absorção e da remobilização do N em cada estágio do desenvolvimento da planta fornece dados importantes para a avaliação de sua eficiência na utilização desse nutriente e pode ser utilizada no planejamento na agricultura. Tem sido demonstrado que diversos grupos de genes são diferencialmente expressos em resposta à quantidade de N fornecida à planta. Nesses estudos, a análise das características fisiológicas, como conteúdo de nitrato, atividade das enzimas nitrato redutase (NR) e glutamina sintetase (GS), mostraram uma variação genotípica e uma correlação positiva entre o conteúdo de nitrato, a atividade da GS, a produção e os seus componentes (Hirel et al., 2001).

A eficiência para absorção de N em estágios iniciais de desenvolvimento na cultura do arroz pode ser proveniente de processo adaptativo a ambientes onde a disponibilidade desse nutriente é baixa e ocorre em fluxos nas épocas de chuva. A capacidade de rápido acúmulo de NO_3^- na fase inicial de crescimento pode propiciar um maior estoque de N disponível para o metabolismo das plantas nas fases posteriores de seu uso ciclo de vida, principalmente quando do enchimento dos grãos, e podem ser a razão do alto acúmulo de N nos grãos. A maior eficiência de aquisição de NO_3^- , a partir de baixas concentrações na solução externa pode ser uma indicação de adaptação às condições de estresses nutricionais (fluxos instáveis de N), como o decorrente da disponibilidade sazonal de NO_3^- em regiões tropicais.

Variedades locais que apresentam maior eficiência de uso de nitrogênio que variedades melhoradas, sugerem que o processo de melhoramento empregado em variedades de arroz tenha sido realizado em condições nutricionais que selecionaram variedades produtivas, porém, mais exigentes em nitrogênio e sendo a capacidade da planta em absorver nitrogênio, um fator constituinte da sua eficiência no uso deste nutriente (Souza et al., 2010).

Considerando as hipóteses que nas áreas onde o trabalho foi desenvolvido ocorre um “Flush” sazonal de N-NO_3^- , favorecido pela alternância de período seco e chuvoso, com grande acúmulo de N no início da estação das chuvas, e depleção do N-NO_3^- logo a seguir, e que, variedades locais e melhoradas de arroz diferem quanto à capacidade de acumulação e remobilização de N-NO_3^- , o que resultaria em maior eficiência no uso de nitrogênio pelas primeiras nesses ambientes em que ocorrem fluxos sazonais de nitrato.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a possibilidade de ocorrência do sincronismo entre o “flush” de N-NO_3^- e a absorção de N por variedades de arroz diferentes quanto à capacidade de armazenamento e remobilização de N em condições de campo, e como objetivos específicos:

a) Avaliar a absorção de N (N-NH_4^+ e N-NO_3^-) por variedades tradicionais e melhoradas de arroz em sistema de cultivo em aléias comparado aos sistemas de cultivo convencional e de derrubada e queima durante o “Flush” de NO_3^- em condições de campo; e

b) Verificar o acúmulo de NO_3^- nas plantas durante o “Flush” de nitrato e a possibilidade de ocorrência do sincronismo entre esse “Flush” e a absorção de N pelas duas variedades de arroz (local e melhorada) diferentes quanto à capacidade de armazenamento e remobilização de N-NO_3^- .

Considerando que os ensaios experimentais foram instalados em condições edafoclimáticas distintas os dados foram organizados em dois capítulos. O Capítulo I consistiu em avaliar a absorção de nitrogênio em variedades tradicionais e melhoradas de arroz em condições de campo sob sistema de cultivo em aléias no município de São Luis – MA. O Capítulo II consistiu em avaliar as mesmas variedades no município de Miranda do Norte sob sistema de cultivo em aléias comparado ao sistema de corte e queima praticado no Estado do Maranhão.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cultura do Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando uma área aproximada de 148 milhões de hectares. O consumo médio individual de arroz é de 60 kg/pessoa/ano, sendo que os países asiáticos são os que apresentam as médias mais elevadas, situadas entre 100 e 150 kg/pessoa/ano, enquanto que na América Latina consomem-se em média 30 kg/pessoa/ano, destacando-se o Brasil como um grande consumidor (45 kg/pessoa/ano) (Gomes & Magalhães, 2004) ocupando o 10º lugar em produção mundial. É uma das espécies mais trabalhadas pelo melhoramento genético no mundo, sendo a primeira de importância agrícola a ter o genoma seqüenciado (Lopes, 2005).

Ao longo da história, o arroz tem sido um dos alimentos humano mais consumido no planeta. Este cereal fornece cerca de 20% das calorias consumidas mundialmente (Khush, 2001). Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2008), o arroz (*Oryza sativa* L.) é o alimento básico de sete países da América Latina e constitui a fonte responsável pelo suprimento de 27% da energia e 20% da proteína alimentar principalmente para as populações pobres dos países de regiões tropicais e subtropicais, e dos chamados países emergentes ou em fase de desenvolvimento. A perspectiva de consumo é aumentar, devido ao crescimento demográfico mundial (Terres et al., 1998).

O arroz pertence à divisão Angiosperma, classe das monocotiledôneas (plantas que possuem um único embrião e um só cotilédone), ordem Glumiflora, família Poaceae (anteriormente denominada Gramineae), subfamília Bambusoideae ou Oryzoideae (definida mais tarde), tribo Oryzea, e gênero *Oryza* (Botelho, 1914). É uma planta anual ou perene, podendo se desenvolver em condições de solo alagado ou seco (Magalhães Jr. et al., 2004). As gramíneas, provavelmente, surgiram na era Mesozóica e evidências circunstanciais sugerem que tenha sido em clima tropical e, a partir de então, diversas linhas evoluíram e adaptaram-se a vários habitats.

O gênero *Oryza* tem sua origem e distribuição em várias partes do mundo, tais como no continente asiático, onde são encontrados *O. sativa*, *O. granulata*, *O. meyeriana*, *O. nivara*, *O. rufipogon*, *O. minuta*, *O. rhizomatis*, entre outros; no continente africano, com destaque para *O. glaberrima*, *O. barthii*, *O. longistaminata*, *O. puctata*, *O. brachyantha*, entre outros; continente americano, onde se encontra *O. glumaepatula*, *O. latifolia*, *O. alta*, *O. grandiglumis*; bem como no continente australiano, com destaque para *O. australiensis* e *O. meridionalis* (Vaughan & Chang, 1995).

O arroz completa seu ciclo de vida em três fases distintas de desenvolvimento, com períodos estabelecidos de crescimento. Essas fases são assim estabelecidas: i) Fase vegetativa, caracterizada pelo crescimento das folhas, colmos e raízes, em número e tamanho. Ocupa a maior parte do ciclo da planta, indo da germinação da semente até o início da diferenciação do primórdio floral. Sua duração é característica da variedade, sendo influenciada pela temperatura e fotoperíodo, ii) Fase reprodutiva que se inicia com a diferenciação dos órgãos reprodutivos, indo até a floração. Sua duração é mais ou menos constante de cultivar para cultivar, durando 30 a 35 dias; e iii) Fase de maturação que se inicia com a floração, indo até a completa maturação. Ocupa um período de 25 a 35 dias, independente da variedade (Rosso, 2007).

O arroz, como grão, é exclusivamente consumido pelo ser humano. Cerca de 90% da produção mundial de arroz é consumido na Ásia, onde esta cultura constitui dieta base e a

principal fonte de carboidratos, proteínas, lipídeos e minerais. A matéria verde é também uma importante ração animal em muitos países (Alcochete, 2005).

A produtividade final da cultura do arroz depende da cultivar utilizada, da quantidade de insumos e das técnicas de manejo empregadas. Dos nutrientes essenciais às plantas, o N está entre os requeridos em maior quantidade e é, por isso, considerado um importante fator para determinar o potencial de produtividade Salatiér (Buzetti, 2006).

No Brasil, a presença do arroz remonta à época do descobrimento. Esse cereal constava no cardápio dos descobridores e também já era utilizado na alimentação das populações locais (Pereira, 2002). No entanto, estudos indicam que o arroz cultivado e consumido no Brasil antes da chegada dos portugueses não se tratava de *O. sativa* originário da Ásia, mas de espécies nativas da América do Sul (Silva, 1950). Essas espécies silvestres ainda podem ser encontradas no Pantanal Mato-grossense e às margens dos igarapés, sobretudo na Amazônia (Pereira, 2002). O arroz era conhecido pelos índios Tupis como “auatiapé” (auati=milho eapé=com casca), “abatiapé (abati=milho eapé=com casca) e “abatii” (abati=milho e i=miúdo) (Magalhães Jr., 2007).

As maiores dúvidas persistem quanto ao ano preciso e à localidade em que o arroz cultivado, de origem asiática (*O. sativa*), foi primeiramente plantado no Brasil, sendo quase certo, entretanto, que tal introdução ocorreu na Bahia (Silva, 1950b), pelos portugueses de Cabo Verde, em uma época anterior a 1587. Desta região, o arroz se espalhou pelos estados do Maranhão, Pernambuco e Pará, onde foi cultivado durante muitos anos, sendo sua produção, na época, exportada para Portugal. No entanto, Pereira (2002) relata que é quase certo que a primeira introdução de arroz nos estados do Maranhão e Grão-Pará (antigo nome do estado do Pará) foi realizada através dos açorianos, sendo a variedade conhecida como arroz vermelho, arroz da terra ou arroz de Veneza.

Nas últimas quatro décadas, a produção mundial de arroz mais do que duplicou, passando de 257 milhões de toneladas, em 1965, para 600 milhões, em 2000. Porém, o índice de crescimento de produção de arroz está diminuindo ao longo dos anos e se essa tendência não for revertida, uma severa falta de alimentos ocorrerá neste novo século. Estima-se que haverá uma demanda de consumo de arroz para o ano 2020 de cerca de 900 milhões de toneladas. É pouco provável que ocorra aumento significativo na área plantada com arroz, dada à estabilidade observada em nível mundial, desde 1980 (Magalhães Jr. et al., 2003).

Atualmente, o arroz é cultivado em um décimo das terras aráveis. No entanto, 30% delas contêm níveis elevados de salinidade, outros 20% estão periodicamente sujeitos à seca e 10% sujeitos a baixas temperaturas. Além disso, o arroz também é vulnerável ao ataque de insetos, fungos, bactérias e vírus. Todas essas formas de estresse comprometem o desenvolvimento e a produtividade (Margis, 2005).

No Brasil, o arroz é uma das principais culturas anuais produzidas, correspondendo a 15-20% do total de grãos colhidos no país. Além de ser cultivado em praticamente quase todos os estados, e consumido por todas as classes sociais (EMBRAPA, 2004), destacando-se inicialmente o cultivo de variedades *japonica* e, mais recentemente, variedades *indica*. A área total cultivada com arroz tem sido de aproximadamente 3,5 milhões de ha, com uma produção total de 11,5 milhões de toneladas. Do total de arroz produzido, 60% são oriundos do sistema de cultivo de várzea e 40% de terras altas (Magalhães Jr., 2007). Entre as regiões, o sul do país corresponde a 57,5% da produção nacional e por 34,9% da área plantada, o que confirma os excelentes índices obtidos pelo arroz irrigado (5,858 kg/ha) sendo Santa Catarina o maior estado produtor. A Região Nordeste detém a segunda maior área cultivada, porém a mais baixa produtividade entre as regiões. Em termos de produção, a região Centro Oeste detém a segunda melhor produção. As Regiões Norte e Nordeste detêm praticamente a mesma participação na produção nacional, respectivamente com 11,2 e 11,5%. Com uma

percentagem de apenas 4,3% da área e 3,1% da produção brasileira encontra-se a Região Sudeste que, por outro lado, é a maior consumidora de arroz (Alcochete, 2005).

A adaptabilidade do arroz não se restringe apenas às diversas regiões do mundo e condições climáticas, mas às diversas condições de solos. As várias cultivares de arroz são plantadas tanto em solos alagados quanto em solos bem drenadas, suportando as mais diversas condições climáticas, edáficas e bióticas (Fageria et al., 1997).

No Brasil, a cultura do arroz é cultivada em dois principais ecossistemas: várzeas e terras altas (sequeiro), sendo que o sistema de cultivo predominante é o sequeiro em terras altas (Arf et al., 2002), que conta com três objetivos principais (Yokohama et al, 1999): i) Cultura de subsistência, normalmente associada ao cultivo itinerante, sendo o cultivo mais comum nas Regiões Norte e Nordeste; ii) Cultivo de transição visando à limpeza da área para outras finalidades, que predomina em regiões de fronteira agrícola, como as áreas de vegetação de cerrado ou floresta e antecede a implantação de pastagens como na Região Centro-Oeste; iii) Cultivo comercial em terras já cultivadas, de grande importância nas Regiões Sudeste e Sul e em regiões do Centro-Oeste favorecidas pela pluviosidade (sub região com influência amazônica).

No sistema de cultivo sequeiro, também chamado de terras altas, não se utiliza irrigação. O suprimento de água da planta de arroz é dependente da precipitação pluvial. Esse sistema apresenta baixos índices de produtividade (Bianchet, 2006). O ecossistema de terras altas desempenhou um papel de grande relevância na produção de arroz sob o sistema de cultivo de sequeiro, nas décadas de 60 a 80, em que a cultura chegou a ocupar 4,5 milhões de hectares. Devido à sua rusticidade e adaptação a solos ácidos, foi uma alternativa altamente satisfatória para o desbravamento dos cerrados. Mas desde a década de 80 a área sob a cultura no sistema de sequeiro vem decrescendo, devido a fatores ecológicos e econômicos, atingindo menos de 2 milhões de hectares na safra 98/99. Em 2000, o consumo de arroz *per capita* no Brasil foi de 58 kg de arroz integral (Alcochete, 2005).

O ecossistema de várzeas (irrigado convencional e irrigado pré-germinado) representa cerca de 40% da área total sob a cultura, contribuindo com 60% da produção. Nesse ecossistema predomina o sistema de cultivo com irrigação controlada, que ocupa cerca de 1 milhão de hectares na região subtropical (Rio Grande do Sul e Santa Catarina), onde a cultura é manejada sob alto nível tecnológico e apresenta rendimento médio ao redor de 5,5 t/ha (Alcochete, 2005). É caracterizado pelo regime de inundações permanentes das lavouras. No sistema irrigado convencional o preparo do solo é feito sem inundação. A irrigação é iniciada a partir dos 15-20 dias após a semeadura e cessa durante o período de enchimento de grãos, quando os grãos estão pastosos. No sistema pré-germinado, o preparo do solo e a semeadura ocorrem com o solo inundado e utiliza-se sementes em fase adiantada de germinação, decorrente do contato com água, oxigênio e temperatura ideal (Bianchet, 2006).

Esse sistema de cultivo de várzeas ainda é menor do que o sistema de sequeiro, contudo, a produção neste primeiro sistema já ultrapassa a do segundo, principalmente na Região Sul (Yokohama, 1999). Nesta região, particularmente, destaca-se a ocorrência de baixas temperaturas durante a fase reprodutiva do arroz irrigado, o que se destaca como um dos grandes problemas climáticos da cultura do arroz no Brasil, conjuntamente com a ocorrência de estiagens (veranicos), na região dos Cerrados, causando deficiência hídrica ao arroz de sequeiro (Steinmetz et al., 1999).

No Estado do Maranhão, nas terras altas é praticada a agricultura itinerante ou agricultura de derrubada e queima e estima-se que 90% do arroz produzido advém do sistema de sequeiro (Ferraz Jr et al., 1997), ocorrendo também cultivos em várzeas úmidas não sistematizadas, em consórcio com milho, feijão-caupi, mandioca e algodão em áreas que variam de 1 a 5 hectares. A mão-de-obra é basicamente familiar. Predomina o plantio com plantadeira manual (matraca) ou em covas abertas com enxadas. No cultivo em várzea,

utiliza-se o sistema de transplante manual, com mudas produzidas na área do próprio produtor, ocorrendo também à semeadura a lanço. Geralmente não é usado adubação, e o controle de invasoras é feito por duas a três capinas. Poucos agricultores combatem as pragas. (Fonseca et al., 2004). Há ainda o cultivo na vazante realizado por agricultores familiares na vazante de grandes rios como o Pindaré e o Mearim (Farias Filho & Ferraz Jr, 2009).

As cultivares utilizadas são basicamente as locais, que apresentam as vantagens de adaptabilidade às áreas de cultivo, rusticidade e razoável competitividade em relação às ervas daninhas. Contudo, apresentam as desvantagens de possuir porte muito alto e ciclo relativamente longo, podendo atingir até 180 dias (Mesquita, 1984). A colheita é feita manualmente, cacho por cacho, e a trilha é efetuada utilizando pedaço de madeira. A secagem é feita ao sol, utilizando, às vezes, o espaço físico marginal das rodovias (acostamentos). O armazenamento é feito em galpões, quartos das residências e em depósitos improvisados na própria unidade produtora. O produto final é destinado ao consumo familiar e o excedente é comercializado na região (Fonseca et al., 2004)

Contudo, o uso de solos de baixa fertilidade natural, o baixo nível tecnológico do sistema de cultivo de terras altas (característico da agricultura itinerante, predominante no estado), associado a um regime climático favorável ao ataque de pragas e doenças, dão ao cultivo do arroz uma baixa produtividade (Ferraz Jr, 2000). Em algumas comunidades da baixada maranhense, Gutman (2005) identificou uma produtividade de arroz cultivado em sistema de terras altas de 702,29 kg.ha⁻¹, o que representa 51,67% da produtividade do estado do Maranhão na safra 2004/2005 (CONAB, 2006).

O arroz de sequeiro é cultivado no Brasil em vários solos, mas principalmente em áreas de Latossolos (Oxisols) e Argissolos (Alfisols/Ultisols), (Moraes, 1999). Estes solos apresentam características peculiares do ponto de vista químico: Os primeiros apresentam mineralogia de argila do tipo caulínica (1:1) e sesquióxidos livres, o que lhes confere baixa capacidade de troca de cátions (CTC). Na grande maioria possuem porcentagem de saturação de base menor que 50% (distróficos), o que caracteriza solos ácidos (pH 4,0 a 5,5). Além disso, a saturação de alumínio maior que 50% também é comum nesses solos, mais por apresentar valores pequenos de cátions intercambiáveis (Ca, Mg, K e Na) do que por apresentar valores elevados de Al. Essas características fazem com que os Latossolos sejam de baixa fertilidade natural, confinando o crescimento das raízes das plantas ao horizonte superficial mais fértil, não aproveitando os nutrientes e água disponíveis nas camadas mais profundas do solo (Moraes, 1999).

Nos Argissolos, a saturação por Al também se mostra alta. Contudo, a disponibilidade de nutrientes nesses solos depende do material de origem. Os solos desenvolvidos a partir de rochas básicas são eutróficos (saturação de bases maior que 50%), podendo conter boa reserva dos principais nutrientes. Os originários de rochas ácidas, predominantes na região do Cerrado, são distróficos, contendo, assim, baixa reserva de nutrientes (Moraes, 1999).

Do ponto de vista nutricional, a deficiência de P, reflexo do alto poder de fixação do elemento por esses solos, é o principal fator limitante ao rendimento. Pela ordem, seguem as deficiências de N, K, Ca, Mg e Zn além de altos níveis de Al trocável nos perfis (Fageria & Barbosa., 1981; Camargo et al, 1997). Consequentemente as produtividades são baixas, e a pesquisa tem enfatizado a seleção de cultivares com maior eficiência de uso de nutrientes, aliada à tolerância de níveis tóxicos de Al, de modo a minimizar custos com fertilizações e corretivos calcários (Furlani et al, 1986 para N; Fageria & Moraes, 1987 para Ca e Mg; Furlani & Hanna, 1984 para Al; Fageria & Barbosa, 1982 e Fageria et al, 1988 para P; citados por Zonta, 2000).

A cultura do arroz extrai do solo altas quantidades de nutrientes, o que gera necessidade de suprir o solo com adubação e corretivos. Contudo, os experimentos mostram que a eficiência com a planta recupera o adubo adicionado é bastante baixa, sendo que o

coeficiente de utilização de N raramente ultrapassa 20-40%. Assim como a maioria das culturas, a cultura do arroz tem no nitrogênio o nutriente mais absorvido. Segundo Malavolta (1981), o nitrogênio estimula o crescimento do sistema radicular do arroz, tem efeito marcante no perfilhamento, aumenta o número de espiguetas por panícula e a percentagem de proteína nos grãos, desempenhando papel importante na formação de órgãos reprodutivos. Contudo a resposta do arroz ao nitrogênio varia grandemente com o tipo de planta, clima, manejo de água e propriedades do solo (Fageria & Wilcox, 1977). A absorção e acumulação de N variam com o estágio de desenvolvimento da cultura. O período de demanda máxima ocorre durante o máximo perfilhamento e o início da fase reprodutiva, com a absorção praticamente completada na emergência da panícula. Plantas deficientes em N apresentam sintomas facilmente perceptíveis como à redução do crescimento, clorose das folhas mais velhas, podendo levar a abscisão dessas folhas e até a morte da planta (Buzetti et al., 2006).

Como segundo macronutriente mais exigido pela cultura e o mais exportado como produto colhido, o N é admitido, em regra geral, como elemento mais capaz de aumentar a produção de grãos (Malavolta & Fornasieri Filho, 1983). A quantidade de N que a planta necessita varia conforme a sua fase de crescimento ou desenvolvimento e das condições ambientais. O período de maior absorção de N encontra-se entre as fases de perfilhamento e início da reprodutiva (Scivittaro & Machado, 2004). No perfilhamento, a disponibilidade de N influencia o número de perfilhos por unidade de área e, conseqüentemente, o número de panículas. No início da fase reprodutiva (diferenciação da panícula), o suprimento de N influencia o número de grãos por panícula. Em decorrência, estas são as duas fases recomendadas para a realização da adubação nitrogenada em cobertura para o arroz irrigado (Sosbai, 2005).

Vários trabalhos revelaram a importância do N no incremento do rendimento de grãos, no aumento do número de perfilhos e de panículas por unidade de área do arroz (Ghobrial, 1983; Lopes et al., 1996; Fageria, 2007). Farinelli et al. (2004) citam que a adubação nitrogenada promove aumento no número de espiguetas, massa de grãos o número de panículas.m⁻², número de grãos.panícula⁻¹. Guimarães e Stone (2003) constataram aumento de produtividade de arroz com doses de N variando de 68 a 100 kg/ha, dependendo do modo de aplicação e do sistema de rotação de culturas.

Alguns estudos têm mostrado a existência de diferenças genotípicas na eficiência de absorção de nitrogênio (N) em arroz (Furlani et al., 1986; Broadbent et al., 1987; Ancheng et al., 1993; Ferraz Jr et al., 1997). Furlani et al.(1986) verificaram em solução nutritiva eficiências similares na absorção de N entre Linhagens de arroz de sequeiro e irrigado, com base na quantidade de N acumulado. Ferraz Junior et al. (1997) observaram maior eficiência de absorção de N para produção de grãos em cultivares melhoradas, de irrigação ou sequeiro, tradicionalmente cultivadas no Estado do Maranhão. Por outro lado, foi observada a existência de algumas variedades locais cuja eficiência de absorção não diferiu significativamente das cultivares melhorada de melhor desempenho (IAC 47 e IAC-899). Segundo Fonseca et al., (1982), as cultivares tradicionais plantadas por pequenos produtores no Estado do Maranhão são adaptadas a solos de baixa fertilidade natural. Plantas cultivadas nessas condições podem apresentar eficiência de uso do N, por não terem sido melhoradas com altos níveis de N (Clarkson, 1985; Vose, 1990). As diferenças encontradas na resposta a nutrientes podem ser explicadas por mecanismos fisiológicos como diferentes taxas de absorção e translocação e diferenças morfológicas no sistema radicular (Malavolta & Fornasieri Filho, 1983).

O uso de cultivares com uma maior Eficiência de Uso de Nitrogênio (EUN) pode ser uma estratégia economicamente positiva para a produção de cultivos de baixo valor como os cereais e, além disso, deve-se levar em consideração o benefício ambiental gerado pela diminuição do uso de fertilizantes nitrogenados para o cultivo dessas plantas. Há necessidade

de aumentar a Eficiência de uso de Nitrogênio (EUN) de cultivos de cereais através de estratégias de manejo de N, métodos de melhoramento de plantas tradicionais ou biotecnologia, enquanto no mínimo mantém, ou otimize aumento da produtividade do cultivo (Beatty et al., 2010).

O tipo de planta, especialmente relacionado ao acamamento e ao potencial produtivo, bem como as condições climáticas, especialmente radiação solar e temperatura, também são fatores determinantes da expressão do potencial produtivo do arroz e, conseqüentemente, de sua resposta à aplicação de N (Marchezan, 2002). Considera-se que o período onde a radiação solar mais influencia a resposta ao N e a eficiência de uso, corresponde aos 20 dias antes e após a floração plena do arroz (Sosbai, 2005). Desta forma, além do tipo de planta, fatores como época de semeadura e ciclo do cultivar utilizado também podem afetar a resposta ao fertilizante nitrogenado.

Além dos atributos morfológicos, a eficiência de absorção de nutrientes é influenciada pelos parâmetros cinéticos que compreendem o influxo máximo ou velocidade máxima (I_{max} ou V_{max}), a afinidade dos carregadores do íon a ser transportado (constante de Michaelis-Menten, K_m) e a concentração na solução do solo junto às raízes onde o influxo pára de ocorrer (C_{min}). Tanto a absorção de nitrogênio na forma de amônio, como de nitrato, mostram cinética de saturação, ou seja, seguem o modelo de Michaelis-Menten, e para ambas as formas de N, têm sido determinados os parâmetros cinéticos de absorção: V_{max} , K_m e C_{min} (Fernandes & Rossiello, 1978; Fernandes & Souza, 1990).

Por sua alta mobilidade no solo, o N tem sido estudado intensamente com o propósito de maximizar a eficiência de seu uso (Mariot et al., 2003). Na cultura de arroz de terras altas, a deficiência de N, é freqüentemente observada (Fageria, 2002). Entre as principais razões de sua ocorrência estão à baixa disponibilidade no solo associado às perdas por vários processos (volatilização, lixiviação, desnitrificação, erosão), baixas doses de aplicação e diminuição do teor de matéria orgânica em conseqüência dos cultivos sucessivos (Fageria & Baligar, 2005).

O nitrato é considerado a fonte de N mineral mais importante para o crescimento das plantas em solos bem aerados sendo assimilado pelas raízes das plantas superiores, mas há evidências de que o amônio pode ser predominante em muitas situações (Stewart et al., 1993; Nardoto & Bustamante 2003).

2.2. Disponibilidade de Nitrato em Solos Tropicais Úmidos

Os ambientes tropicais e subtropicais são caracterizados pela elevada incidência solar, temperatura elevada e ocorrência de chuvas com alta intensidade e magnitudes, sendo difícil manter altos níveis de matéria orgânica sobre os solos, devido às altas temperaturas que induzem elevadas taxas de decomposição (Silva & Pasqual, 1999; Bayer, 2004).

Nessas regiões, a radiação solar varia com a latitude alterando o grau de exposição das diferentes regiões à luz solar em virtude do ângulo de incidência dos raios solares sobre o solo. Quanto mais próximo ao Equador mais crítica é a incidência, como é o caso das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil.

O clima tropical úmido, característico de grande parte do Nordeste, Centro-Oeste e parte do Sudeste, é controlado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), massa equatorial continental (Ec), massa tropical marítima (TM) e anticiclone migratório polar (Araujo, 2005). Originalmente, o domínio Tropical apresenta uma alternância nítida entre estação seca e estação chuvosa (Conti & Furlan, 2003).

Os solos presentes nas regiões tropicais são como regra geral, altamente intemperizados e têm suas condições químicas, físicas e biológicas altamente dependentes da matéria orgânica o que determina uma grande resposta destes solos a sistemas de manejo que promovem uma variação positiva nos estoques de C orgânico do solo (Bayer, 2004). Quando

os solos ficam expostos à intensa radiação solar e a altas temperaturas, ocorre a oxidação de sua matéria orgânica. As atividades orgânicas normais dos micros e meso-organismos, nas camadas superiores do solo ficam inibidas pela falta ou excesso de umidade e por altas temperaturas (Shaxson, 1988).

Por outro lado, os solos altamente intemperizados das regiões tropicais exibem considerável capacidade de troca aniônica (CTA), apresentando sítios de adsorção inespecífica em materiais inorgânicos amorfos, principalmente óxidos de ferro e alumínio. Com isso, os movimentos de ânions como Br^- , Cl^- e NO_3^- são significativamente retardados, apesar de nunca serem especificamente adsorvidos (Duwig et al., 1999).

Em solos tropicais altamente intemperizados, o conteúdo de nitrato presente no solo pode variar com a sazonalidade de variáveis ambientais como a temperatura e a precipitação e fatores de solo como acidez do solo (pH), a textura e a mineralogia, entre outros que podem afetar a taxa de mineralização da matéria orgânica e de resíduos culturais (Stevenson, 1994; Bayer, 1996), que terminam influenciando o processo de assimilação, o consumo e o armazenamento desse íon pelas plantas.

A alta mobilidade do nitrato no solo justifica a preocupação em relação ao manejo da adubação nitrogenada em solos agrícolas (Vanotti & Bundy, 1994). A lixiviação do nitrato é um fenômeno físico, favorecida pela baixa energia envolvida na sua adsorção às partículas do solo e também pela sua alta solubilidade em água (Cereta, 1997) sendo que a lixiviação de nitrato no perfil é retardada pela presença de cargas positivas nos horizontes subsuperficiais (Alcântara & Camargo, 2005). Este íon pode ser carregado pela água de percolação, resultando em perda deste nutriente e contaminação do lençol freático e de cursos d'água (Dyenia & Camargo, 1999).

O comportamento da distribuição temporal do nitrato no solo sob a forma de pulsos tem sido relatado para diversos ecossistemas, entretanto, sua influencia nos processos ecológicos e a definição das estratégias de aquisição e de uso desse íon pelas plantas tropicais ainda são incipientes (Pereira-Silva et al., 2007).

Segundo Normam & Wetselaar (1960) o início do período chuvoso implica em grande disponibilidade de NO_3^- no solo. Esses autores verificaram que o NO_3^- disponibilizado no início do período de chuva foi lixiviado para camadas inferiores e ascendeu por capilaridade na estação seca quando a evapotranspiração supera a precipitação, podendo ocorrer ascensão do NO_3^- por capilaridade. A este acúmulo atribuíram-se várias causas, de natureza fisiológica, fotoquímica, biológica ou física. Foi observado um aumento significativo de NO_3^- de 38 para 229 mg.L^{-1} , enquanto o cloreto subiu de 950 para 2977 mg.L^{-1} . Os valores mais elevados destes nutrientes coincidiram com os períodos de seca.

Este fenômeno foi observado em solos da Austrália, Costa Rica, Uganda e Sudão, constatando-se um aumento no teor de nitrato na camada superficial logo após a época seca, enquanto que o teor de amônio não sofreu grandes variações (Fassbender, 1975; Normam & Wetselaar, 1960; Wetselaar, 1961a). No Brasil estudos realizados em solos de cerrado também foram observados esta característica (Verdade, 1951). Para explicar esse fenômeno várias hipóteses foram levantadas destacando-se uma que considera que durante a época seca, quando a atividade das bactérias amonificantes e nitrificantes são reduzidas ao mínimo a degradação da matéria orgânica pela atividade fúngica do solo deve continuar, favorecendo assim o acúmulo de substâncias nitrogenadas que seriam rapidamente mineralizadas, até o nível de nitratos, (Urquiaga et al. 1993) no início das chuvas não se descarta também o efeito da ascensão capilar de nitratos (Wetselaar, 1961a, b).

Entretanto, as taxas de radiação fotossinteticamente ativa durante este período são muito reduzidas e a oferta de esqueletos de carbono para assimilação de N nas plantas diminui. Nestas condições, o acúmulo de NO_3^- no solo está basicamente concentrado em breves períodos nos meses de dezembro e janeiro, quando as taxas de precipitação elevam-se. Já

nesta época, teria ocorrido a ascensão de N-NO_3^- das camadas mais profundas, o que, somado ao acúmulo de NO_3^- proveniente da mineralização da matéria orgânica nas camadas superiores do solo, estabelece o “fluxo sazonal de NO_3^- ” (Rodrigues et al., 2004).

Plantas adaptadas a ambientes onde ocorre esse fluxo inicial de nitrato parecem ter desenvolvido mecanismos bioquímicos para alta atividade de bombeamento de H^+ nos vacúolos, que está associada ao acúmulo de NO_3^- (Rodrigues, 2005). Esse mecanismo permite que as plantas acumulem o N excedente na fase inicial de crescimento e o remobilize posteriormente para atender à elevação da demanda metabólica durante a fase de crescimento da cultura. A capacidade de rápido acúmulo de NO_3^- na fase inicial de crescimento pode propiciar um maior estoque de N disponível para o metabolismo das plantas nas fases posteriores de seu ciclo de vida, principalmente quando do enchimento dos grãos (Hirel et al., 2001; Souza et al., 1998; 1999).

Chikowo et al. (2004) observaram que em condições de alta precipitação pluviométrica há dificuldade em manejar o N oriundo da mineralização da matéria orgânica, em função do alto acúmulo de NO_3^- durante as primeiras chuvas, tornando-o suscetível à lixiviação para as camadas mais profundas, inacessíveis para a maioria das culturas de interesse econômico.

Os picos de NO_3^- formados na superfície durante o início do período das chuvas constituem o flush ou fluxo sazonal de NO_3^- (Rodrigues, 2005). Dados de Oliveira (2001) comprovaram que esse acúmulo foi rapidamente dissipado após a lixiviação do NO_3^- que se depositou nas camadas inferiores do solo.

Na célula pode se considerar que há dois reservatórios (pools) de nitrato separados espacialmente: o reservatório metabólico ou pool indutor (de curta duração – ligado à regulação do nível da nitrato redutase) e o reservatório de reserva ou pool substrato (de existência mais longa – ligado ao suprimento de substrato) (Heimer & Filner, 1971; Ferrari et al., 1973, citados por Souza & Fernandes, 2006). O pool indutor refere-se ao NO_3^- presente no citossol, enquanto o pool substrato é o NO_3^- acumulado nos vacúolos (Souza & Fernandes, 2006).

Ferrari et al. (1973) verificaram em células de tabaco que o NO_3^- acumulado no pool substrato pode ser utilizado pela planta, porém era incapaz de substituir o NO_3^- do pool indutor em capacidade de induzir síntese de novo da nitrato redutase, ou acumular a atividade da nitrato redutase já existente. O excesso de NO_3^- no citossol (pool indutor), passa rapidamente para o vacúolo (pool de reserva), através de um antiporte e de um canal iônico no tonoplasto. Segundo Siddiqi et al. (1989) o fornecimento de N exógeno pode restaurar o fluxo de NO_3^- no citoplasma e assim, aumentar a atividade da nitrato redutase.

2.3. Dinâmica e Metabolismo do Nitrogênio nas Plantas Superiores

O Nitrogênio (N) é quantitativamente o nutriente mais importante para o crescimento e a produtividade das plantas, fundamental no metabolismo das mesmas sendo constituinte de biomoléculas essenciais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas, enzimas, nucleotídeos (ácidos nucléicos), e outros metabólitos contendo N (Lam et al., 2006; Harper 1994). Assim, elas apresentam diversas e complexas formas de aquisição, assimilação e uso de N (Rentsch et al., 2007, Lam et al., 2006). Este nutriente está disponível para plantas superiores terrestres em diferentes formas, que incluem principalmente o N mineral (NO_3^- e NH_4^+) e N_2 molecular (fixação simbiótica), mas também óxidos de nitrogênio (NO) e NH_4^+ voláteis e N orgânico (aminoácidos e peptídeos).

Dentre os nutrientes essenciais o N é o mais extensamente assimilado do solo pelas plantas superiores. O conhecimento sobre a assimilação, compartimentalização e reciclagem é crítico para a fisiologia de plantas, já que a disponibilidade de N limita o crescimento e a

produtividade vegetal mais que qualquer outro fator nutricional (Vitousek & Howard, 1991; Crawford & Glass, 1998). As plantas, ao contrário dos animais, têm a capacidade de assimilar o N inorgânico do ambiente e sintetizar todos os 20 aminoácidos encontrados em proteínas, bem como todos os outros compostos orgânicos nitrogenados usados por elas (Sodek, 2004).

O ciclo do N no sistema solo-planta é bastante complexo. A maior fração de N do solo está na forma orgânica, presente na matéria orgânica, em diferentes moléculas e com variados graus de recalcitrância, ou como parte de organismos vivos. Algumas formas ou frações de N têm uma meia vida de poucos dias, enquanto outras, de séculos. O nitrogênio pode ingressar no sistema solo-planta por deposições atmosféricas, fixação biológica – simbiótica ou não, adubações químicas ou orgânicas. Por outro lado, pode sair por meio de remoções pelas culturas e variados mecanismos de perdas, que incluem lixiviação e volatilização. O ciclo do N é controlado por fatores físicos, químicos e biológicos e afetado por condições climáticas difíceis de prever e controlar (Cantarella, 2007).

Na matéria orgânica do solo o N está na forma de proteínas, aminoácidos, ácidos nucléicos e nucleotídeos. Essas substâncias são quebradas em compostos simples por bactérias saprófitas e fungos do solo que os incorporam, o excesso é liberado em forma de amônia (amonificação). A amônia ou íons amônio no solo podem ficar adsorvidos nos minerais de argila do solo ou ser oxidados a nitrito que então é oxidado a nitrato (nitrificação) por bactérias quimiossintetizantes (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, respectivamente) (Raven et al., 1996). A atividade microbiana da mineralização pode ser influenciada principalmente pela quantidade de água (Brady 1989) e pelo pH do solo (Malavolta & Kliemann, 1985).

A principal fonte de saída de N de um ecossistema é a remoção de plantas, ele também pode ser perdido quando a camada superficial do solo é levada pela erosão, quando a cobertura vegetal é destruída pelo fogo, pela volatilização do amônio do solo ($\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$), pela lixiviação do nitrito e do nitrato e pela redução do nitrato por vários microrganismos do solo a formas voláteis de nitrogênio (N_2 e N_2O) que retornam à atmosfera (desnitrificação) (Raven et al., 1996).

As principais reações bioquímicas em plantas e microrganismos envolvem a presença do N, o que o torna um dos elementos absorvidos em maiores quantidades por plantas cultivadas. Além disso, o N apresenta grande versatilidade nas reações de oxi-redução e está presente em vários estados de oxidação, desde formas bastante reduzidas (-3), como o NH_4^+ , até oxidadas (+5), como o NO_3^- , o que lhe confere especial importância nos ciclos biogeoquímicos e no metabolismo das plantas (Epstein & Bloom, 2005).

O N disponível às plantas é definido como soma do N na forma de nitrato (N- NO_3^-), do N na forma de amônio (N- NH_4^+), quando não são perdidos por desnitrificação ou volatilização, respectivamente, e do N orgânico que é mineralizado em determinado tempo (Gilmour & Skinner, 1999).

Embora pequena quantidade possa estar presente na forma inorgânica, o N, quando absorvido na forma oxidada (NO_3^-), deve ser reduzido para ser incorporado a compostos orgânicos e, então, exercer suas funções metabólicas. Quando absorvido na forma reduzida (NH_4^+), pode ser incorporado diretamente nos compostos orgânicos. O N no interior das plantas encontra-se combinado ao carbono, hidrogênio e oxigênio e, algumas vezes, ao enxofre, como constituinte de aminoácidos, enzimas, ácidos nucléicos, clorofila, alcalóides e outros (Carvalho, 2005).

Desta forma, podemos dizer que o Nitrogênio constitui um dos fatores mais limitantes para o crescimento das plantas, mas estas apresentam vários mecanismos para máxima eficiência de utilização deste nutriente. Sistemas complexos de absorção, assimilação e mobilização evitam a perda do próprio nitrogênio bem como de energia. Estes sistemas complexos resultaram em uma progressiva adaptação para as condições ambientais de baixo suprimento de N. Embora o nitrogênio molecular contribua com 78% da atmosfera, ele

representa para as plantas uma situação paradoxal, já que sua abundância na atmosfera não reflete em disponibilidade para as plantas, pois em contraste a outras moléculas diatômicas como o O_2 , NO , e CO , ele não é quimicamente reativo em condições naturais, devido à grande estabilidade da molécula.

Os aminoácidos formados podem ser exportados através do xilema (principalmente em raízes) e floema (folhas). A análise de compostos nitrogenados na seiva do xilema pode indicar como a planta está transportando o nitrogênio assimilado (Fischer et al., 1998) e as mudanças sazonais causadas por diferenças na intensidade de absorção e atividade metabólica das raízes ao longo do ano. O nitrogênio transportado pelo xilema pode não ser exclusivamente de origem radicular, pois as reservas de N podem ser remobilizadas (Moreno & Garcia-Martinez, 1983). Geralmente, os compostos nitrogenados transportados no xilema são as amidas (asparagina e glutamina) e aminoácidos (glutamato e aspartato). O nitrato não é retranslocado via floema, e, portanto sua presença no xilema é um indicativo de absorção radicular. Em espécies leguminosas tropicais é comum encontrar ureídeos, alantoína e ácido alantóico especialmente naquelas capazes de fixação simbiótica de nitrogênio (Schmidt & Stewart, 1998; Aidar et al., 2003).

2.4. Absorção de Nitrogênio pelas Plantas

O nitrogênio é absorvido pelas plantas principalmente na forma de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) dependendo das condições do solo, onde o NO_3^- é a forma mais encontrada na maioria dos solos aerados, devido a bactérias nitrificadoras presente no solo. Há décadas o nitrato é conhecido como nutriente, mas nos últimos anos foi descoberta sua função como sinal, atuando no metabolismo vegetal (Santi et. al., 2003), como por exemplo: mudanças no crescimento da planta, metabolismo e indução e repressão de genes codificando transportadores de nitrato (Forde, 2000).

Nos solos, o amônio livre ou liberado de compostos aminados de materiais em decomposição pode sofrer ação de bactérias nitrificantes, sendo transformado em nitrato (NO_3^-). Assim, na maioria dos solos, a principal forma de N é a nítrica, seguida da amoniacal. Ambas as formas podem ser absorvidas pelas plantas em taxas e proporções dependentes da espécie, idade e disponibilidade de carboidratos (Deanne-Drummond, 1983). Ao contrário do nitrato, altos níveis de amônio são tóxicos para as plantas. O amônio dispersa o gradiente de prótons transmembrana, que é necessário para o transporte de elétrons na fotossíntese, e na respiração, e quando absorvido em grandes quantidades estimula o “ciclo fútil”, que vem sendo considerado uma das principais causas da sua toxidez (Taiz & Zeiger, 1991).

Segundo Bredemeier & Mundstock (2000) a absorção de N é modulada pela presença dos carregadores específicos, pela afinidade desses carregadores em relação ao nitrato ou amônio e pela quantidade de N presente no solo.

As plantas assimilam, na raiz, aproximadamente todo o NH_4^+ e de 5 a 95% do NO_3^- absorvido pela rizosfera (Bloom et al., 1992). As amidas, com suas baixas relações C:N são as principais transportadoras de N orgânico no xilema de milho. Em plantas supridas exclusivamente com nitrato o maior suprimento de N das raízes para a parte aérea está na forma de nitrato (59%), com somente 35% transportados como compostos aminados, principalmente glutamina. Nessas condições, o principal sítio de assimilação de nitrogênio é a parte aérea. Em plantas supridas com amônio, 84% do nitrogênio exportado das raízes para parte aérea estão na forma de compostos orgânicos, predominando asparagina e glutamina, sendo o restante translocado como amônio (não tóxico em baixas concentrações). Portanto, em condições de suprimento exclusivo com amônio as raízes são os principais sítios de assimilação do nitrogênio. Em plantas supridas com amônio e nitrato 1:1, a maior parte do nitrogênio (64%) é exportada das raízes para parte aérea na forma de compostos aminados,

predominando glutamina, ascendendo somente 34% como nitrato. Nestas condições, as raízes são novamente os principais sítios de assimilação de nitrogênio, provavelmente em razão da mais rápida absorção de amônio com relação à de nitrato (Murphy & Lewis, 1987 citado por Magalhães, 1996).

A respeito da absorção de NH_4^+ , os autores comentaram que ela ocorre por via sistema uniporte, por processo passivo através de transportadores de membrana *AMT*. A absorção de NH_4^+ pelas plantas possui maior eficiência energética, já que o NH_4^+ tende a ser menos lixiviado no solo e sua absorção demanda menos energia das plantas, pois se encontra prontamente assimilável pelas enzimas do ciclo GS/GOGAT, diferentemente com o que ocorre com o nitrato. Entretanto, quando absorvido, o amônio tem que ser rapidamente assimilado a esqueletos de carbono na produção de aminoácidos devido a sua toxicidade. Fato que pode ser prejudicial a sua absorção em ambientes de baixa luminosidade e temperatura. (Souza et al., 2010)

O amônio é fixado pelo sistema GS/GOGAT em aminoácidos (glutamina/glutamato) que servem como substrato para reações de transaminação para produzir todos os outros aminoácidos (Tischner, 2000). Existem diversas limitações fisiológicas em relação à absorção de N por raízes de plantas cultivadas que contribuem para redução da eficiência de uso de N (EUN). Portanto, o fluxo de N entre a planta e o solo precisa ser melhor entendido (Glass, 2003).

Em algumas gramíneas, o suprimento de nitrato e amônio, em quantidades equivalentes, resultou primeiramente na absorção do amônio, sendo a absorção do nitrato significativa apenas quando as concentrações do amônio eram muito baixas, o qual poderá ser reduzido nas raízes ou transportado para a parte aérea; nessas plantas, o amônio absorvido é assimilado principalmente nas raízes (Mattsson & Schjoerring, 2002).

A produtividade de nitrogênio da planta tem sido expressa como o produto de dois fatores: a proporção de nitrogênio na folha, que é a proporção de nitrogênio da planta presente nas folhas, e a produtividade de nitrogênio da folha, definida como o aumento na matéria seca da planta por unidade de tempo e conteúdo de nitrogênio da folha (Garnier et al., 1995). Os autores concluíram que a eficiência no uso fotossintético do nitrogênio tem um forte impacto sobre a produtividade do nitrogênio da folha, e desta maneira, sobre a produtividade de nitrogênio da planta. A “alocação” entre diferentes órgãos da planta afeta a produtividade de nitrogênio da planta em alguma extensão quando grandes diferenças nas taxas são comparadas, mas em gramíneas, a alta taxa de nitrogênio na folha não necessariamente se correlaciona com a alta produtividade de nitrogênio na planta.

2.5. Metabolismo de Nitrato em Plantas Superiores

2.5.1. Absorção e transporte de nitrato

O nitrato é considerado a principal fonte de N mineral assimilado pelas raízes das plantas superiores, mas há evidências de que o amônio pode ser predominante em muitas situações (Stewart et al., 1993; Nardoto & Bustamante, 2003). Muitos trabalhos têm demonstrado que N orgânico também é uma fonte importante para comunidades de plantas em uma grande amplitude climática e edáfica (Schmidt et al., 1998).

As plantas adquirem o nitrato da solução do solo através da membrana plasmática das células da epiderme e do córtex das raízes. A absorção de nitrato pelas raízes ocorre por processo ativo, contra um potencial eletroquímico, por meio de um sistema simporte, com transporte simultâneo de H^+ e NO_3^- para dentro das células. O transporte de NO_3^- ocorre através de uma força protomotora que explica o aumento na velocidade de absorção de NO_3^- quando o pH da solução do solo decresce. Uma relação de $2\text{H}^+ : 1\text{NO}_3^-$ é observada para a

absorção no sistema de membranas, sendo o custo energético para esta absorção de 2 mol de ATP para cada 1 mol de NO_3^- “capturado” pelas plantas (Fernandes & Rossiello, 1995).

A absorção do nitrato pelas raízes ocorre de forma ativa por simporte. Do nitrato absorvido pelas raízes uma pequena parte desse íon permanece no citoplasma, constituindo um “pool metabólico”, enquanto que a maior parte ou é transportada para o vacúolo, formando um “pool de armazenamento”, ou é translocados para a parte aérea, onde será reduzido ou armazenado nos vacúolos foliares, ou ainda exportado para outros locais na planta para ser assimilado (Bonato et al., 1998). Já a absorção de amônio do solo pelas raízes das plantas ocorre de forma passiva por difusão, quando as concentrações externas desse íon são altas, e de forma ativa através de transportadores, quando as concentrações externas são baixas (Willians & Miller, 2001).

O nitrato não se constitui apenas em fonte de suprimento de nitrogênio, mas age como sinalizador para vários processos celulares (Crawford, 1995). A indução de enzimas envolvidas na assimilação de nitrato é apenas um dos mecanismos estimulados pela presença de nitrato. Tem sido demonstrado que o metabolismo de carboidratos é diretamente afetado pela presença de nitrato o qual altera a relação entre síntese de amido e síntese de sacarose, em benefício deste último, tendo como resultado final a produção de ácidos orgânicos como oxoglutarato, que estão diretamente envolvidos na assimilação da amônia via GS /GOGAT (Camargos, 2002).

A capacidade de absorção e transporte de nitrato não é equitativamente distribuída ao longo do eixo da raiz e não é idêntica em raízes de idades diferentes (Lazof et al., 1994). Ainda, as raízes mais velhas absorvem e transportam nitrato mais ativamente, mas possuem atividade reduzida de nitrato redutase, o que é considerado um indicador de aumento na translocação de nitrato destas raízes para a parte aérea (Jião et al., 2000). De forma geral, em concentrações baixas de suprimento de nitrato a redução ocorre preferencialmente nas raízes, enquanto em altas concentrações o armazenamento e transporte para a parte aérea são auxiliadas na manutenção do *status* de nitrogênio da planta (Agrell et al., 1997). A absorção e o transporte do meio externo para a raiz dependem da concentração externa de nitrato, considerando que o transporte via xilema depende da demanda da parte aérea e do conteúdo de compostos nitrogenados reduzidos presentes no floema (Saravitz et al., 1998), sendo que o transporte e assimilação de nitrato é diretamente regulado por variações na concentração de glutamina (Gojon et al., 1998) ou, ainda, pelo incremento no pool de aminoácidos solúveis que não o acúmulo de um aminoácido específico (Padgett & Leonard, 1996).

O transporte de N na planta envolve compostos específicos e característicos da espécie, da estação e da forma de nitrogênio nutricional (Parsons & Sunley, 2000). Os aminoácidos formados podem ser exportados através do xilema (principalmente em raízes) e floema (folhas), o nitrato não é translocado via floema, portanto sua presença no xilema é indicativa de absorção radicular (Martins, 2007).

O mecanismo de transporte de nitrato é sugerido como um co-transporte via membrana, H^+ /nitrato (Ullrich, 1987), sendo que o K^+ é necessário para manter o balanço de cargas no ambiente celular. O incremento na concentração de CO_2 atmosférico também afeta o metabolismo de nitrato, assim como, a temperatura radicular afeta a absorção e o transporte. Outro fator ambiental que afeta a absorção e transporte de nitrato é a presença do poluente NO_2 , o qual adentra a planta via cutícula ou estômato, resultando em um incremento na concentração de nitrato e redução da concentração de compostos nitrogenados reduzidos, sendo transportado para a raiz via floema, inibindo a absorção e o transporte de nitrato (Tischner et al., 1988).

2.5.2. Transportadores responsáveis pela absorção e transporte de nitrato

A absorção de íons nas membranas celulares de plantas superiores ocorre necessariamente através de sítios específicos, de origem protéica (proteínas integrais da membrana), que permite a passagem dos íons do meio externo para o interior das células. Essas proteínas integrais de membrana formam os três sistemas que atuam no transporte de íons: as bombas iônicas, os transportadores de íons e os canais iônicos. A absorção de N através da membrana plasmática é mediada por dois tipos de carregadores (Siddiqi et al., 1990; Lea, 1993; Von Wiren et al., 1997, Fernandes & Souza, 2006).

O nitrato é a forma predominante em solos aerados, sendo a forma de nitrogênio mais encontrada pelas plantas na maioria dos solos brasileiros. Para sua absorção, é criado um gradiente de potencial eletroquímico gerado pelas H⁺-ATPases presentes na membrana plasmática, entrando na célula através de transportadores específicos presente na plasmalema. Esses transportadores podem ser divididos de acordo com sua afinidade pelo substrato. Existem transportadores de alta afinidade (HATS - “high affinity transport system”) que operam a baixas concentrações de NO₃⁻, podendo ser divididos em constitutivos (cHATS) e os induzidos (iHATS) que opera a concentrações muito baixas. Existem ainda os transportadores de baixa afinidade (LATS - “low affinity transport system”) que operam em concentrações acima de 1 mM (Siddiqi et al., 1990; Aslam et al., 1992; Aslam et al., 1993).

A cinética de absorção foi obtida pelo transporte de NO₃⁻ marcado com ¹³N, e a linha de divisão entre sistemas de alta e baixa afinidade é dependente da espécie, mas geralmente HATs começam a atuar em concentrações de ordem de 0,5 mM. Estima-se que o transporte de nitrato seja ativo, presumivelmente por simporte com prótons. (Camargos, 2002).

Os carregadores de baixa afinidade (Low Affinity Transport System – LATS) operam quando a concentração externa de N é alta e caracterizam-se por ser constitutivos e não sujeitos à regulação. Os carregadores de alta afinidade (High Affinity Transport System – HATS) atuam sob baixas concentrações externas de N (Aslam et al., 1992; Lea, 1993; Von Wirén et al., 1997). Para o nitrato, sob concentrações externas inferiores a 100-200 mmol.l⁻¹, o transporte pela membrana ocorre via carregadores de alta afinidade (HATS), com um K_m entre 7 e 100 mmol.l⁻¹. Acima destas concentrações, a absorção de nitrato ocorre pelos carregadores de baixa afinidade (LATS), com K_m maior que 0,5 mmol.l⁻¹ (Von Wirén et al., 1997).

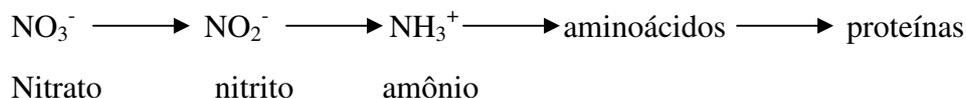
A absorção de NO₃⁻ pelas plantas se dá através de proteínas transportadoras *NRT* codificadas por uma família multigênica e apresenta ampla variação de padrões de cinética de absorção, fato que demonstra a plasticidade das plantas para a aquisição de formas oxidadas de N abundantes durante um grande período na evolução das plantas superiores.

Na cultura do arroz, a expressão dos genes que codificam transportadores de NO₃⁻ é realizada por transportador *AtNRTT 2.2* que é um gene indutivo atuando tanto na raiz quanto na parte aérea (Rana et.al., 2007).

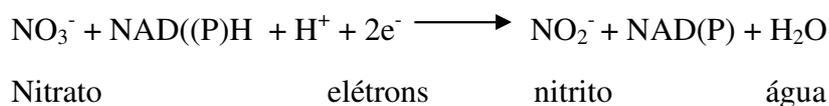
2.5.3. Assimilação e redução de nitrato

Após a absorção pela planta, o N inorgânico precisa ser incorporado na forma orgânica e isto ocorre pelo processo de assimilação. A assimilação do N compreende os processos de redução do nitrato a amônio e a incorporação do amônio em aminoácidos. A taxa e a quantidade de nitrogênio assimilado pelas plantas durante o seu ciclo dependem da atividade das enzimas envolvidas no ciclo do nitrogênio e da disponibilidade de energia necessária para os processos de assimilação. A assimilação redutiva do nitrogênio é um processo dispendioso energeticamente às plantas, razão porque ocorre predominantemente nas folhas centro da síntese de energia (ATP) e agentes redutores (fornecedores de elétrons). O processo de incorporação do N compete com a fotossíntese por massas (carboidratos) e energia,

consumindo 12 ATPs para cada mol de N assimilado pela planta (Bloom et al., 1992). As plantas assimilam a maioria do nitrato absorvido por suas raízes em compostos orgânicos da seguinte forma:



A primeira parte do processo consiste na redução do nitrato a nitrito nas folhas ou raízes pela ação da enzima nitrato redutase (NR), localizada no citoplasma (Tischiner, 2000). Essa enzima é a principal porta de entrada de N no metabolismo vegetal. O produto (NO_2^-) formado é então reduzido a NH_4^+ pela enzima nitrito redutase, localizada nos cloroplastos das folhas e plastídeos das raízes (Sodek, 2004).



Onde: NAD(P) indica NADH ou NADPH (nicotinamina adenosina dinucleotídeo reduzida).

O nitrato pode ser reduzido nas folhas ou nas raízes, existindo três formas principais para a nitrato redutase definidas pela sua fonte de poder redutor, podendo ser NADH, NADPH ou ambas. Em raízes são encontrados ambas as formas, NADH-NR e NADPH-NR. Nas folhas, luz é necessário para a máxima expressão e assimilação de CO_2 para formação dos esqueletos de carbono necessários à assimilação do NO_3^- (Cheng et al., 1992).

O primeiro passo da assimilação do nitrato na planta é catalisado pela enzima nitrato redutase (NR), localizada no citoplasma, esta enzima tem NAD(P)H como doador específico de elétrons e é composta por três regiões envolvidas na transferência de elétrons do NAD(P)H para o nitrato que é reduzido a nitrito. Nas folhas o nitrito entra no cloroplasto onde a enzima nitrito redutase (NiR), catalisa sua redução à amônia, esta enzima tem ferredoxina como co-fator e, portanto, os elétrons são fornecidos por reações fotoquímicas. Nos tecidos não verdes como a raiz o nitrito é reduzido nos plastídeos, neste caso a energia é gerada no citossol, através do ciclo das pentoses e da glicólise, e nas mitocôndrias pelo ciclo do ácido tricarboxílico (Oaks & Hirel, 1985). A amônia é fixada via GS/GOGAT em aminoácidos, glutamina e glutamato, que por sua vez servem de substrato para reações de transaminação, para a produção de todos os outros aminoácidos necessários a síntese de proteínas.

Estando no citossol o nitrato atua ativando e induzindo a atividade da enzima Nitrato Redutase (NR). Deste modo, o nitrato é então reduzido a nitrito pela NR, e a seguir o nitrito é reduzido a amônio, que precisa ser assimilado em moléculas orgânicas. Todo esse processo de absorção, redução e assimilação de nitrogênio necessita de energia, poder redutor e esqueletos de carbono, que em algumas situações estão limitantes na célula (escuro, senescência, baixa taxa fotossintética, estresse etc) (Souza & Fernandes, 2006). Nestas condições o nitrato absorvido pode ser enviado para outras células ou acumulado no vacúolo, para posterior uso.

A redução completa do nitrato a amônio requer oito elétrons, sendo seu processo de assimilação mais eficiente na folha. Onde o poder redutor para a redução do nitrato e os seis elétrons utilizados na redução do nitrito pode ser fornecido diretamente pelas reações fotoquímicas, sem competição com a fixação do gás carbônico. Isso é possível sob alta intensidade luminosa quando há excesso de energia fotoquímica e a assimilação do carbono satura facilmente (Sodek, 2004).

A nitrato redutase é considerada uma enzima chave na regulação do metabolismo de nitrogênio por ser a primeira e principal porta de entrada de nitrogênio na planta (Pursino et

al.,1994). Sua atividade tem dois principais pontos de regulação: a transcrição que leva algumas horas e é responsável por mudanças diárias na atividade com a maior atividade durante as primeiras horas do dia; e a pós-tradução, que é um processo muito mais rápido, ocorre por mecanismo de fosforilação e desfosforilação da enzima e leva alguns minutos, sendo importante para desativar a enzima quando a planta passa da luz para o escuro evitando o acúmulo de nitrito na falta de ferroxina (Sodek, 2004).

O principal fator que influencia a síntese da enzima nitrato redutase é o nitrato que, quando presente, induz a síntese de novo da enzima. Já a atividade da enzima é influenciada pela luz, efeito que pode ser direto, ativando a enzima, ou indireto, através do processo da fotossíntese, fornecendo energia para a assimilação do nitrato, pelo molibdênio (co-fator da enzima), que quando deficiente reduz a sua atividade, assim como pela concentração de amônio e de aminoácidos (produtos da assimilação de nitrogênio) (Smirnoff et al., 1984).

Todo esse processo de redução e assimilação necessita de energia, poder redutor e esqueletos de carbono, que em algumas situações, estão em concentrações limitantes na célula. O NO_3^- absorvido pode ser enviado para outras células, acumulando no vacúolo, passando pelo tonoplasto via um canal de NO_3^- ou de um antiporte H^+/NO_3^- (Souza & Fernandes, 2006).

A importância da redução do nitrato na vida da planta é similar ao da redução e assimilação de CO_2 na fotossíntese (Marschner, 1995; Forde, 2000). Na maioria das espécies de plantas somente uma porção do nitrato absorvido é reduzida nas raízes, ocorrendo o transporte, através do xilema para a redução na folha. Existem evidências de que muitas plantas podem reduzir o NO_3^- , tanto nas raízes como nas folhas. Contudo, há diferença entre espécies quanto ao principal órgão envolvido na redução do nitrato. Em muitas plantas, como os cereais, a maior porção do nitrato é reduzida nas folhas, enquanto, em outras, isso acontece nas raízes. É muito difícil inferir qual estratégia de assimilação seria mais benéfica na agricultura (Marenco & Lopes, 2005).

Mesmo em condições similares de disponibilidade do nitrato, o balanço do metabolismo do nitrato entre raízes e a parte aérea, indicado pela proporção da atividade da nitrato redutase em cada um dos órgãos ou pelas concentrações relativas do nitrato e do nitrogênio reduzido na seiva do xilema, varia de espécie para espécie. Segundo Marenco e Lopes (2005), um dos fatores que limitam a redução de nitrato nas raízes é o elevado requerimento de carboidrato, associado ao processo de redução. Nas folhas, a redução de nitrato compete com a redução de CO_2 pela disponibilidade de ATP e agentes redutores.

Existem evidências de que muitas plantas podem reduzir o NO_3^- , tanto nas raízes como nas folhas. Contudo, há diferença entre espécies quanto ao principal órgão envolvido na redução do nitrato. Em muitas plantas, como os cereais, a maior porção do nitrato é reduzida nas folhas, enquanto, em outras, isso acontece nas raízes. É muito difícil inferir qual estratégia de assimilação seria mais benéfica na agricultura. As folhas, por exemplo, podem ter acesso a maior disponibilidade de energia (via fotossíntese), mas também podem sofrer com maior frequência o ataque de desfoliadores; já as raízes dependem dos assimilados exportados pela parte aérea para o seu metabolismo (Marenco & Lopes, 2005).

Em espécies tropicais, a redução do nitrato ocorre de preferência na parte aérea, independente da concentração externa desse íon (Nambiar et al., 1988). Uma vez absorvido, em plantas C_4 (milho), será reduzido a nitrito pela enzima nitrato redutase, localizada no citossol das células do mesófilo. O nitrito será reduzido a amônio pela enzima nitrito redutase nos cloroplastos ou plastídeos de raízes (Vaughn & Campbell, 1988). Ao contrário do nitrato, o amônio está prontamente disponível para incorporação em forma orgânica, sem necessidade de grandes gastos energéticos ou de poder redutor, no entanto, demanda esqueletos carbônicos prontamente disponíveis para incorporação nos tecidos das plantas.

Nas plantas C_4 , as células do mesófilo e da bainha dos feixes vasculares diferem em sua função, não só na assimilação de CO_2 , mas também, na assimilação do nitrato. Tanto a

nitrito redutase quanto a nitrito redutase estão localizadas nas células do mesófilo e ausente nas células da bainha do feixe vascular. A divisão do trabalho em plantas C_4 , por meio do qual as células do mesófilo utilizam energia luminosa para redução e assimilação do nitrato e as células da bainha para redução do CO_2 , é provavelmente a principal causa para a elevada eficiência do uso de nitrogênio em plantas C_4 comparadas com plantas C_3 (Marschner, 1995).

A assimilação de $N-NO_3^-$ é um dos processos de maior gasto energético para as plantas, requerendo a transferência de 2 elétrons por nitrato convertido a nitrito, 6 elétrons por nitrito convertido a amônio, e 2 elétrons e 1 ATP por amônio convertido a glutamato. Para suprir os elétrons suficientes para estas reações, as plantas devem desviar equivalentes redutores para o transporte de elétrons na mitocôndria. Durante a assimilação de nitrato, no escuro, pela parte aérea das plantas, estas liberam significativamente mais CO_2 que consomem O_2 , presumivelmente devido ao ciclo dos ácidos tricarbóxicos ou ciclo oxidativo das pentoses fosfato, catabolizando substratos e transferindo alguns elétrons para NO_3^- e NO_2^- , preferencialmente ao O_2 . Esses dados indicam que no escuro as plantas gastam acima de 25% da sua energia respiratória na assimilação do nitrato (Bloom et al., 1992). Segundo estes autores, a absorção e assimilação de NO_3^- e NH_4^+ foi o maior gasto energético para o crescimento das raízes de cevada em solução nutritiva, compreendendo 14% do total do catabolismo de carbono sob nutrição de NH_4^+ e 23% sob nutrição de NO_3^- . O requerimento energético adicional para assimilação de nitrato alimenta a controvérsia de que o crescimento pode ser energeticamente mais limitado sob suprimento de nitrato que de amônio.

O nitrito é um íon altamente reativo e potencialmente tóxico (Taiz & Zeiger, 2004). As células vegetais transportam rapidamente o nitrito que foi originado pela redução do nitrato no citosol para o interior dos cloroplastos das folhas e nos plastídeos nas raízes. Nessas organelas, a enzima nitrito redutase reduz o nitrito a amônio.

O amônio (NH_4^+) derivado da absorção da raiz ou produzido por assimilação do nitrato ou da fotorespiração é rapidamente assimilado na forma orgânica sendo imediatamente incorporada a aminoácidos nas raízes. (Camargos, 2002). O amônio é tóxico para as plantas e por isso precisa ser assimilado rapidamente evitando seu acúmulo nos tecidos. A enzima responsável por isso é a glutamina sintetase (GS) que funciona mesmo em baixas concentrações de amônio, catalisando a união deste com glutamato para formar glutamina. A eficiência desse processo é muito maior que a taxa de produção de amônio pela redução do nitrato e/ou pelo processo de fotorespiração, mantendo o NH_4^+ em concentrações baixas nos tecidos vegetais. A síntese de glutamato pode ser mediada pelas enzimas amidatransferase de glutamina: 2-oxoglutarato (GOGAT) ou pela glutamato desidrogenase (GDH). A reação catalisada pela GOGAT necessita de dois elétrons fornecidos pela ferredoxina (no cloroplasto) ou NADH (em tecidos não verdes) (Sodek, 2004). O sistema GS-GOGAT é dominante para a síntese de glutamato em plantas superiores enquanto a GDH está provavelmente envolvida na sua oxidação (Oaks, 1994).

Uma vez assimilado em glutamina ou glutamato, o nitrogênio pode ser transferido para muitos outros compostos orgânicos através de diversas reações, incluindo as de transaminação. A interconversão entre a glutamina e a asparagina sintase equilibra o metabolismo do carbono e do nitrogênio em uma planta (Coruzzi & Bush, 2001).

2.5.4. Remobilização do nitrato

Quando a disponibilidade de NO_3^- no nível das raízes é muito elevado, o nitrogênio é absorvido em excesso, caracterizando um consumo de luxo, e os altos níveis de NO_3^- podem ser acumulados no vacúolo para posterior utilização ou podem ser translocados através dos tecidos sem efeitos prejudiciais (Lea et al., 1993).

O nitrato acumulado no vacúolo pode ser considerado importante no balanço cátion-anion para a osmoregulação da planta. (Sabino, 2007). Taiz & Zeiger (2004) relataram que

quando as raízes recebem pequenas quantidades de nitrato, este é reduzido, principalmente, nesses órgãos. À medida que o suprimento de nitrato aumenta, uma proporção maior do nitrato absorvido é translocada para as partes aéreas, onde será assimilado.

A remobilização do NO_3^- acumulado no vacúolo, com seu retorno ao citossol, envolve a participação de um transportador de NO_3^- , do tipo simporte, com um próton e depende de um gradiente eletroquímico que é gerado pelas bombas de prótons presentes no tonoplasto: a V- H^+ ATPase e a Pirofosfatase (H^+ PPase) (Fernandes & Souza, 2006). O nitrato no citossol atua como um desacoplador das unidades Vo e V1 das V- H^+ ATPase, deste modo esta enzima só atua bombeando prótons para o interior do vacúolo, na ausência de nitrato no citossol, o que permite, a saída de nitrato que esteja porventura acumulado no vacúolo.

O acúmulo de nitrato nos tecidos vegetais ocorre quando há desequilíbrio entre a absorção e a assimilação desse íon, sendo que as quantidades excedentes são estocadas nos vacúolos para serem assimiladas posteriormente (Andriolo, 1999). Os principais fatores que afetam o acúmulo de nitrato nas plantas são de origem genética, ambiental, da forma de fornecimento do nitrogênio (quantidade e proporção) e da quantidade de molibdênio fornecido. Uma grande variabilidade de conteúdo de nitrato tem sido observada em diferentes espécies vegetais, assim como dentro de uma mesma espécie (Cardenas - Navarro et al., 1999). A acumulação é provocada geralmente por algum estresse ambiental em que a taxa fotossintética da planta é afetada, especialmente em situações de baixa incidência de radiação solar associada à alta disponibilidade desse nutriente em nível radicular. Tal fato provoca diminuição da atividade da enzima nitrato redutase pela falta de energia para formação de NADH^+ . Um ligeiro acúmulo de nitrato ocasiona a inibição da atividade da enzima nitrato redutase, resultando em acúmulo de nitrato nos vacúolos celulares (Hufton et al., 1996).

O movimento do NO_3^- para o vacúolo pode ser muito rápido, resultando na sua depleção no citossol mesmo quando o conteúdo total de NO_3^- na célula é elevado. O vacúolo passa a ser, portanto um local de reserva de NO_3^- que pode ser posteriormente remobilizado e utilizado no metabolismo de N (Rodrigues, et al., 2004). A capacidade de rápido acúmulo de NO_3^- na fase inicial de crescimento pode propiciar um maior estoque de N disponível para o metabolismo das plantas nas fases posteriores de seu ciclo de vida, principalmente quando do enchimento dos grãos, e pode ser a razão do alto acúmulo de N nos grãos (Hirel et al., 2001; Souza et al., 1998; 1999).

Períodos de baixa radiação solar diminuem a fotossíntese, reduzindo, por sua vez, a assimilação do NO_3^- , aumentando a acumulação nos vacúolos. A atividade da enzima nitrato redutase depende do molibdênio, devendo-se evitar que sua disponibilidade fique muito baixa, pois com isso, a velocidade de assimilação do NO_3^- diminui, induzindo também a acumulação.

Marschner (1995) considerou que a remobilização é baseada na variação de diferentes processos fisiológicos e bioquímicos: utilização do mineral estocado no vacúolo, “breakdown” de proteínas estocadas, ou finalmente no “breakdown” de estruturas celulares (cloroplastos, por exemplo) e enzimas. Conseqüentemente, transformando nutrientes minerais estruturalmente ligados em formas móveis. A remobilização na planta é importante no processo de ontogênese da planta, seguindo os estádios: germinação da semente; período de insuficiente suprimento para as raízes durante o crescimento vegetativo e também durante o período reprodutivo.

A avaliação da capacidade de absorção e da remobilização do nitrogênio em cada estágio do desenvolvimento da planta fornece dados importantes para a avaliação de sua eficiência na utilização desse nutriente e pode ser utilizada no planejamento de uma agricultura ecológica. Tem sido demonstrado que diversos grupos de genes são diferencialmente expressos em resposta à quantidade de N fornecida à planta. Nesses estudos, a análise das características fisiológicas, como conteúdo de nitrato, atividade das enzimas nitrato redutase (NR) e glutamina sintetase (GS), mostraram uma variação genotípica e uma

correlação positiva entre o conteúdo de nitrato, a atividade da GS, a produção e os seus componentes. Entretanto, a atividade da NR foi negativamente correlacionada (Hirel et al., 2001). Assim, o aumento da produtividade em genótipos de milho pode ser atribuído à sua habilidade de acumular nitrato em suas folhas durante o crescimento vegetativo e a eficiência na remobilização do nitrogênio armazenado nos vacúolos durante o enchimento dos grãos (Hirel et al., 2001).

Recentes pesquisas que tiveram como objetivo avaliar a eficiência do uso de nitrogênio em milho (*Zea mays* L.) indicou ser possível detectar variações genéticas e selecionar novos genótipos que mostrem aumento ou diminuição da atividade de várias enzimas envolvidas nas vias de assimilação de nitrogênio (Hirel et al., 2001). Estes mesmos autores estudando as bases genéticas e fisiológicas da eficiência do uso de nitrogênio em milho correlacionaram a assimilação primária e a remobilização de nitrogênio com a produção, concluindo que o aumento da produção de grãos observado nas últimas duas décadas não foi apenas devido ao aumento na assimilação de nitrogênio inorgânico, mas também devido à maior eficiência no uso do nitrogênio como resultado de uma remobilização mais eficiente deste nutriente.

Euclides et al. (1990), estudando a melhor época para o “diferimento” e utilização das pastagens, observou que na “vedação”, tanto em fevereiro, quanto em março, os teores de nitrogênio total decresceram linearmente durante os períodos de utilização estudados (maio, julho e setembro), além do conteúdo de nitrogênio total das folhas jovens ter sido muito mais elevado em relação às outras folhas ou mesmo ao caule.

Procurando entender tais alterações e considerando somente os fatores de estresse nutricional (disponibilidade de nitrogênio e água influenciando a absorção do nutriente) pode-se imaginar que essas plantas apresentam mecanismos muito efetivos para remobilização. Isso é pressuposto, uma vez que, mesmo sob a severidade do estresse observado no período de inverno na região tropical, apresentam algumas taxas de crescimento, embora possa ser considerada modesta diante do potencial produtivo da planta. Neste contexto Fernandes e Rossiello (1995) discutiram que nas regiões tropicais onde existem duas estações bem definidas (seca e chuvosa), pode ocorrer uma “súbita abundância” de nitrato no início da estação chuvosa, atribuída a uma rápida degradação da matéria orgânica pelos microorganismos. E consideraram a possibilidade dessas plantas terem desenvolvido uma estratégia de sobrevivência, adaptando-se a estes solos pobres e oxidicos dos trópicos. Portanto, tornando-se hábeis em absorver NO_3^- em uma rápida taxa, durante este período de “súbita abundância”, que não se estende por mais que 3 a 5 semanas, já que o NO_3^- pode ser lixiviado pelas fortes chuvas tropicais, e então, compartimentalizando o excesso de nitrato absorvido num “pool” de reserva nos vacúolos que será utilizado posteriormente para seu metabolismo.

A remobilização e retranslocação de nutrientes de folhas e tecidos senescentes para outros órgãos em crescimento ou de armazenamento são importantes estratégias na redução da perda de nutrientes, elevando a eficiência no uso do mesmo na planta (Vitousek, 1984), porém o conhecimento sobre a remobilização de nitrogênio nas espécies nativas brasileiras ainda é muito incipiente, havendo pouca informação disponível (Nardoto et al., 2006).

2.6. Disponibilidade de Nitrogênio em Diferentes Agroecossistemas Agrícolas

Com o cultivo do solo, ocorre o rompimento do equilíbrio do N devido às alterações nas taxas de perda de N do solo (Lathwell & Boundin, 1981; Dala & Mayer, 1986). O conteúdo de N tende a um novo equilíbrio, o qual é dependente do manejo, principalmente do tipo de cultura e método de preparo do solo. Culturas que proporcionam um baixo incremento de N para os sistemas agrícolas, aliada ao preparo solo com intenso revolvimento, resultam num decréscimo do conteúdo de N do solo. (Greenland, 1971), obteve na sucessão trigo-

pousio um decréscimo de aproximadamente 70% do conteúdo de N na camada de 0-10 cm, ao final de 50 anos cultivo. Este resultado foi decorrente de uma baixa quantidade de N adicionada ($10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N) e a uma alta quantidade de N removida do sistema na forma de grãos ($40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N) anualmente do solo. Neste solo, que havia perdido 70% do N na sucessão pousio-trigo, obteve-se uma recuperação do seu conteúdo de N pela utilização de pastagens com predominância de leguminosas forrageiras, retornando ao nível original em 30 anos. Segundo o autor, este resultado deveu-se a inclusão da leguminosa em consórcio (introdução de N no sistema).

A monocultura e o revolvimento do solo contribuem para a oxidação da matéria orgânica e conseqüentemente para a perda da fertilidade do solo. Da Silva et al. (1994) mostraram que mais da metade da matéria orgânica do solo (MOS) foi perdida em apenas 3 anos após a conversão do cerrado nativo para plantio de soja em sistema convencional. Aliada à perda da MOS as quantidades de N tendem a diminuir também. Todavia, práticas de manejo como o sistema de cultivo, seleção e rotação de culturas, com a inclusão de adubos verdes tendem a contribuir para a acumulação de N no sistema pois podem alterar as taxas de decomposição da matéria orgânica devido aos seus efeitos na umidade e temperatura do solo, aeração, composição e arranjo dos resíduos (Gregorich & Janzen, 2000), além da melhoria das condições físicas do solo (Gassen & Gassen, 1996).

A disponibilidade de N do solo é determinada pela relação C:N, conteúdo de N e taxa de oxidação da matéria orgânica. A relação C:N é pouca afetada pelos métodos de preparo do solo (Bauer & Black, 1981), sendo mais alterada pelo sistema de culturas. Normalmente, sistemas de rotação de culturas que incluem leguminosas resultam em relação C:N mais baixa dos resíduos (Testa, 1989) e assim, numa maior disponibilidade de N para as culturas. A taxa de oxidação da matéria orgânica é maior nos solos que sofrem revolvimento, resultando num N disponível maior, que pode ser mais facilmente perdido do sistema, o que gera um decréscimo do conteúdo de N ao longo do tempo em comparação a solos não revolvidos. Ao contrário, em solos sob plantio direto, há um incremento no conteúdo de C e N ao longo do tempo (Sá, 1998).

Existe estreita relação entre as dinâmicas do C e do N durante a decomposição dos materiais orgânicos no solo. Os agentes ativos deste processo são os organismos compostos por diversas espécies e com necessidades metabólicas variadas. A incorporação dos resíduos culturais ao solo causa um rápido incremento na biomassa microbiana, que refletirá no aumento da imobilização de nutrientes para a decomposição dos resíduos. A ciclagem mineral em um ecossistema compreende, de um lado, os processos de transferência de nutrientes entre o meio externo e o solo e, de outro, os processos internos entre vegetação e solo.

Ultimamente, tem-se focado o estabelecimento de uma agricultura sustentável, fundamentada na manutenção da produtividade, na redução dos custos de produção e na preservação do ambiente. Assim, a utilização de processos microbiológicos, visando o aumento da disponibilidade de nutrientes, torna-se necessária, especialmente com relação ao nitrogênio, cuja fixação biológica pode ser maximizada (Stamford et al., 1997; Coelho et al., 2002). Nos países do terceiro mundo, o uso de adubação nitrogenada é limitado, pois, o pequeno produtor utiliza esse insumo agrícola de alto custo, somente quando o preço de seu produto é estimulador (Ribaski et al., 2001).

A adubação verde é reconhecida como uma alternativa viável na busca da sustentabilidade dos solos agrícolas (Alcântara et al., 2000). Um dos sistemas em que se utiliza a adubação verde é o agroflorestral na forma de aléias, tradicionalmente empregado em regiões tropicais da África e Ásia, em que árvores e arbustos (leguminosas preferencialmente) são cultivados em fileiras, de forma intercalada com cultivos agrícolas (Barreto & Fernandes, 2001). Tais plantas são periodicamente podadas durante a época de cultivo e constituem, portanto, uma forma de adubação verde. Desta forma, os sistemas agroflorestrais são

considerados promissores, por requererem menor uso de insumo externo que as monoculturas, e por serem similares aos ecossistemas naturais (Altieri, 2002). Os sistemas agroflorestais constituem tecnologias agrícolas com baixa demanda de energia, insumos e/ou recursos, além de serem produtivos e sustentáveis, que combinam árvores e arbustos (principalmente de espécies leguminosas) e culturas alimentícias e/ou forrageiras (Kampen & Budford, 1980; Stepler & Nair, 1987; Bene, et al., 1977; Nair, 1984; Kang et al., 1990). O cultivo em aléias pode também reduzir as perdas por erosão, uma vez que promove maior cobertura do solo, diminuindo o impacto direto da chuva no solo.

O Sistema de cultivo em aléias ou “Alley cropping”, é um tipo de sistema agroflorestal simultâneo. Consiste na associação de árvores e/ou arbustos, geralmente fixadores de nitrogênio, intercalados em faixas com culturas anuais. As árvores ou arbustos são podados periodicamente para utilização da biomassa podada como adubação verde e/ou lenha, com o objetivo principal de melhorar a fertilidade do solo, e/ou como forragem de alta qualidade (Bertalot, 2003). Este sistema foi inspirado nas práticas dirigidas à recuperação de áreas em pousio melhorado mediante o uso de adubos verdes (Kang et al., 1997; Macdicken & Vergara, 1990). O cultivo em aléias baseia-se no princípio de que é possível obter um uso produtivo e sustentável da terra, com diversificação de fontes de renda para o pequeno produtor, quando os métodos de conservação e reabilitação são introduzidos antes que ocorra degradação séria dos recursos (Kaya & Nair, 2001; Copijn, 1988).

As espécies arbóreas requerem os mesmos recursos que as culturas associadas, o que pode resultar tanto em interações positivas (complementaridade) quanto negativas (competição). Entre as interações competitivas da associação árvore-cultivo destaca-se a competição por luz, água e nutrientes, além de possíveis relações alelopáticas (Schroth et al., 1995). Entre as interações de complementaridade destacam-se: o suprimento de nutrientes dentro da zona radicular das culturas através da entrada de N_2 por fixação biológica, a redução das perdas de nutrientes por lixiviação devido à sua absorção de camadas mais profundas, e a reciclagem de resíduos orgânicos provenientes da deposição de serapilheira ou, ainda, da incorporação de biomassa por meio da adubação-verde (Buresh & Tian, 1998; Rowe & Cadisch, 2002; Bala et al., 2003). A magnitude e o tipo de interação, que ocorrem entre as árvores e os cultivos, dependem das condições edafoclimáticas de cada local, das características das plantas utilizadas, do manejo e da eficiência do uso da água, além de outros fatores (Gómez et al., 1990; Rowe et al., 2001; Gathumbi et al., 2003).

A taxa de decomposição nos sistemas agrícolas é geralmente maior do que nos florestais. Em locais em que se faz a derrubada da vegetação nativa em áreas tropicais ocorre um aumento nas taxas de mineralização e nitrificação líquidas de nitrogênio do solo. Esse tipo de alteração pode levar a um incremento das perdas de nitrogênio, através da lixiviação e desnitrificação por aumentar a disponibilidade desse nutriente no ambiente (Fernandes & Fernandes, 1999).

O uso de sistemas conservacionistas, que englobam adubação verde, rotação de culturas e plantio direto, é capaz de proporcionar elevações nos teores de N total nas camadas superficiais do solo, redução de perdas nas camadas via imobilização por microrganismos e liberação gradual do nutriente (Amado et al., 2000). Isto decorre do tipo e qualidade do material adicionado à superfície e da seqüência de culturas adotadas (Mengel, 1996). Os resíduos liberam C, N e outros componentes simples durante o processo de decomposição, dos quais parte retorna à atmosfera na forma de gás (CO_2 , NH_3 , N_2 e outros), parte é imobilizada pelos microrganismos decompositores, parte permanece na forma prontamente disponível para as plantas e o restante é perdido por lixiviação ou direcionado à produção de substâncias húmicas (Stevenson, 1986).

A introdução de leguminosas como plantas de cobertura do solo, em sistemas de rotação de cultura é uma prática que tem aumentado o fornecimento de N e o rendimento

vegetal (Amado et al., 1988; Bayer et al., 1998). Adicionalmente aos aspectos relacionados ao rendimento das culturas, essas espécies têm aumentado os estoques de matéria orgânica e proporcionado melhorias em várias propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, principalmente quando associadas a sistemas de preparo sem revolvimento, ou com mínima mobilização do solo (Testa et al., 1992; Burle et al., 1997; Silva & Mielniczuk, 1997; Vargas & Schalles, 2000).

Nas regiões tropicais, a ação antrópica tem provocado o corte raso de florestas primárias para projetos de desenvolvimento como agricultura e pecuária. No caso da agropecuária, a prática mais comum é a derruba-e-queima (“slash-and-burn”), seguido de cultivo itinerante (*shift cultivation*). Por conta disso, excetuando a região amazônica, as paisagens das regiões tropicais vêm sendo dominadas por capoeiras (Gómez-Pompa & Vásquez-Yanes, 1974; Brown & Lugo, 1990). Na maioria dos países, principalmente aqueles com altas densidades populacionais, as capoeiras têm sido usadas e reutilizadas, tanto para a agricultura itinerante, como também para o fornecimento de matéria-prima às indústrias madeireiras.

A agricultura itinerante caracteriza-se por ser um dos principais meios de subsistência para as populações pobres e rurais dos países em desenvolvimento. (Kleinman et al., 1995) e no caso do Brasil, é a principal técnica utilizada por agricultores indígenas e tradicionais, principalmente entre populações com forte influência indígena (Peroni, 2004, Adams, 2000;). Esse tipo de atividade envolve alguns poucos anos de cultivo, onde clareiras são abertas, alternando com vários anos de pousio e inclui a agricultura de desmatamento e queimada (Adams, 2000). Essa prática começa com a derrubada da mata, que é deixada para secar. Depois de seca a mata é queimada, onde o processo de queima libera os nutrientes contidos nas plantas, que serão disponibilizados ao solo na forma de cinzas, já que muitos nutrientes recicláveis estão presos nas árvores. (Adams, 2000; Vasey, 1992; Dean, 1996).

Para MacGranth (1987), mais importante que enfatizar as técnicas são os motivos que levam ao uso dessa técnica, definindo-a como uma estratégia de manejo que visa explorar o capital energético e nutritivo do complexo natural, solo e vegetação da floresta. O que ocorre na rotação dos campos, muitas vezes constituindo a única fonte de vegetação da floresta e de nutrientes para as roças. Sendo, portanto uma adaptação, tanto ecológica, como tecnológica, aos solos relativamente pobres das florestas tropicais. (Ellen, 1991; Moran, 1994). Esse tipo de manejo vem sendo apontado como grande transformador da paisagem onde é praticada. (Dean, 1996).

O cultivo de solos tropicais e subtropicais baseado em práticas de preparo com intenso revolvimento normalmente resulta na diminuição dos estoques de matéria orgânica do solo (Tiessen et al., 1994). Além das condições climáticas, o tipo de solo tem grande influência na estabilidade da matéria orgânica no solo e, portanto, no uso manejo dele. Normalmente, pode ser verificada uma relação inversa entre as perdas de matéria orgânica com a textura (Dalal & Mayer, 1986) e/ou presença de minerais com carga variável (Martin et al., 1982).

Solos sob cultivo convencional intensivo, com elevada degradação pelo uso sistemático de práticas inadequadas tais como: a queima de restos culturais, o excessivo revolvimento do solo e a concentração de cultivos no verão, deixando grande parte das áreas descobertas no inverno (Aita, 1997); causam elevada perda de matéria orgânica do solo, e conseqüentemente dos nutrientes nela contidos, sendo dentre eles o N o mais afetado (Oliveira et al., 2002).

Desta forma, a inclusão de leguminosas arbustivas ou arbóreas pode representar excelente opção para diversificar sistemas agrícolas intensivos. Essas espécies são capazes de fixar consideráveis quantidades de N do ar, além de acumular nutrientes na sua biomassa. Por serem plantas perenes e rústicas, as leguminosas dinamizam a ciclagem dos nutrientes (Zararah et al., 1999), durante períodos em que muitas das culturas não podem ser

cultivadas por limitação de temperatura ou umidade. Podem, ainda, prover sombra e proteger contra ventos, criando um microclima favorável (Koech & Whitbread, 2000), com impactos positivos na economia de água, na proteção contra pragas e doenças, e no controle da erosão laminar. Servem também de abrigo, produzindo pólen e néctar em benefício de inimigos naturais, além de auxiliar a redução de infestação por plantas indesejáveis da vegetação espontânea.

A contribuição de N pelas leguminosas para outras culturas em consórcio depende das espécies de leguminosas, seu potencial de nodulação e eficiência na produção de fitomassa, o que é determinado pela espécie, material genético e condições ambientais, podendo ser potencializado pelo manejo dos resíduos. De acordo com Radersma et al. (2004), a performance do sistema em aléias depende, ainda, do teor de fósforo (P) no solo para seu sucesso.

Uma forma viável de integração dessas leguminosas em sistemas orgânicos de produção é o cultivo em aléias. Vários autores relatam os efeitos benéficos dos sistemas de cultivo em aléias na fertilidade do solo, controle de erosão, matéria orgânica e N do solo (Kang et al., 1984, 1995; Yamoah et al., 1986; Kass et al., 1989; Quinton & Rodriguez, 1999; McDonald et al., 2003; Tangya et al., 2003). A eficiência desse sistema depende da sincronização entre a ciclagem dos nutrientes e as fases de maior absorção pelas culturas, da fixação biológica do N₂ e do suprimento de nutrientes pelos resíduos da poda da leguminosa consorciada (Alves et al., 2004). De acordo com Myers et al. (1994) e Ferraz Jr. (2004), nos agroecossistemas que pretendem a substituição da fertilização química pela ciclagem de nutrientes da biomassa de leguminosas arbóreas, como os sistemas agroflorestais, tornam-se imprescindível a ocorrência do sincronismo entre os processos de mineralização do N das folhas de leguminosas e a absorção pela cultura consorciada.

O cultivo em aléias tem sido pesquisado em várias partes do mundo, principalmente para cereais, como arroz (Danso & Mogan, 1998), milho (Brewbaker, 1985) e sorgo (Matta-Machado et al., 1994); hortaliças, como tomateiro e jiloeiro (Palada et al., 1992), repolho e couve (Mapaona & Kitou, 1994), feijão (Mafra et al., 1998) e “mulberry” (Tangya et al., 2003). No Brasil, entretanto, poucos estudos foram realizados nesse campo.

Estudos desenvolvidos em Surubim, PE, de 1986 a 1991, mostraram que o cultivo de *Leucaena leucocephala* (Lam) em faixa, na cultura do algodoeiro herbáceo, causou melhoria nas características químicas do solo (Orozimbo et al., 1999). O uso de árvores e arbustos de crescimento rápido entre culturas anuais com podas periódicas aplicadas ao solo como cobertura morta e/ou adubo verde melhora a estrutura do solo pela adição de matéria orgânica e atividade dos sistemas radiculares dessas plantas, aumentando a taxa de infiltração e retenção de água, reduzindo o escoamento superficial e a erosão do solo. A escassez de água no semi-árido do Nordeste brasileiro, como um fator natural, necessita de modelos de exploração agrícola apropriado, capaz de aumentar a eficiência do uso das águas de chuvas, aumentando a produção das culturas em condições de precipitações pluviais deficitárias e irregulares (Britto et al., 2001).

Sistemas agroflorestais, como o cultivo em aléias ou a implantação de cercas-vivas com gliricídia, vêm sendo adotados em propriedades agrícolas familiares no Agreste paraibano. A gliricídia (*Gliricidia sepium*) é uma leguminosa arbórea, resistente à seca, que vem sendo cultivada como fonte de forragem e lenha em propriedades rurais no Semi-Árido nordestino. Pela sua alta capacidade de fixar N atmosférico (Bala et al., 2003) e de produzir biomassa, em condições de baixa disponibilidade hídrica, a gliricídia é uma planta capaz de melhorar a fertilidade do solo e de aumentar a produtividade das culturas agrícolas associadas, quando usada como adubo verde (Barreto & Fernandes, 2001), por isso, essa espécie é ideal para o cultivo em aléias (Palm et al., 2001; Vanlauwe et al., 2005; Marim et al., 2007). Heineman et al. (1997), avaliando no Quênia oito espécies de árvores leguminosas (*Leucaena*

leucocephala, *L. collinsii*, *Gliricidia sepium*, *Calliandra calothyrsus*, *Sesbania sesban*, *S. grandiflora*, *Senna siamea* e *S. spectabilis*), obtiveram maior produtividade de milho na associação desta cultura com *L. leucocephala* e *Gliricidia sepium*. O rendimento de grãos foi positivamente correlacionado à quantidade de folhas aplicadas no solo.

No Estado do Maranhão o sistema de cultivo em aléias é apontado como uma alternativa viável para substituir a agricultura itinerante (Ferraz Jr. et al., 1997; Ferraz Jr, 2000). O sistema de cultivo em aléias consiste em um dos sistemas agroflorestais mais simples, que combina em uma mesma área espécies arbóreas, preferencialmente leguminosas, e culturas anuais ou perenes, e tem se mostrado uma alternativa promissora para a produção fitomassa “in situ”, nas condições climáticas locais (Ferraz Jr. et al., 1997; Ferraz Jr, 2000).

Resultados obtidos em solos do Maranhão demonstram ser a cobertura morta, a prática que isoladamente promove as maiores respostas das plantas quanto ao crescimento e produtividade. Segundo Moura (1995) as respostas de crescimento das plantas às práticas de melhoramento destes solos são muito dependentes do aumento de sua qualidade física, principalmente de indicadores como porosidade total, capacidade de aeração e faixa de umidade não limitante.

A sustentabilidade dos sistemas ecológicos tem como suporte três pilares: a biodiversidade, a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia. Dessa forma, para manter o solo produtivo, qualquer sistema deve incluir o maior número possível de espécies vegetais em um mesmo cultivo ou em sucessão, manter altos níveis de matéria orgânica juntamente com alta diversidade de vida no solo, e ser o mais eficiente possível na utilização de água, luz e nutrientes.

3. CAPÍTULO I

ABSORÇÃO, ACÚMULO E REMOBILIZAÇÃO DE N POR VARIEDADES DE ARROZ, CULTIVADAS EM SISTEMA DE MANEJO EM ALÉIAS NO MUNICÍPIO DE SÃO LUIS – MA

3.1. RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a absorção de N por variedades locais e melhoradas de arroz diferentes quanto à capacidade de armazenamento e remobilização durante o “Flush” de NO_3^- em condições de campo sob sistema de cultivo em aléias. Foram instalados experimentos por dois anos consecutivos (2008/2009) no Campus Experimental da Universidade Estadual do Maranhão município de São Luis, Estado do Maranhão. O delineamento experimental foi bloco casualizados e parcelas sub-subdivididas com três tratamentos principais (ausência e presença de aléias combinadas entre si, nos seguintes tratamentos: Sombreiro + Leucena (S + L); Acácia + Leucena (A+ L) e Testemunha, sem leguminosas), e dois tratamentos secundários (variedades local e melhorada de arroz) avaliadas em três épocas de amostragem, com quatro repetições. Analisaram-se as seguintes variáveis: a atividade da nitrato redutase, açúcar solúvel, frações nitrogenadas (N- NH_4^+ , N- NO_3^- , N-amino), N-total, N-protéico, produção de biomassa, a produtividade e o fluxo sazonal de NO_3^- no solo. Os conteúdos de N na parte aérea e grãos foram obtidos pelo produto do teor de N pela biomassa respectiva. Foram calculados ainda o índice de colheita de grão (razão entre massa de grãos e massa total de parte aérea) e os índices de colheita de N (razão entre conteúdo do N nos grãos e conteúdo total na parte aérea). Houve diferença significativa entre os tratamentos quanto à produção de massa fresca e seca da parte aérea (folhas, bainhas e plantas inteiras) entre as variedades de arroz, nas diferentes épocas de amostragem, nos dois anos do experimento. A atividade da nitrato redutase foi baixa, no entanto, constatou-se variação na atividade da enzima em função época de amostragem. A atividade máxima da enzima ocorreu por ocasião do enchimento dos grãos para todos os sistemas de cultivo e em todas as variedades, passado esse período, verificou-se que ocorreu um declínio na atividade da enzima. Os resultados mostraram que as maiores reduções nos teores de NO_3^- foram observados nas bainhas, indicando ser este o local preferencial para a remobilização de N em arroz. As variedades locais (Três Meses e Piauí) apresentaram sempre valores mais baixos de atividade da NR e acumularam mais NO_3^- comparada as variedades melhoradas (Bonança e IAC-47). No ano de 2009 foram observados os menores acúmulos de N- NO_3^- , N- NH_4^+ , N-amino e açúcares solúveis. A produtividade de grãos de arroz foi maior para os tratamentos com leguminosas em aléias, em relação à testemunha. No solo foram observadas diferenças significativas para os teores de NO_3^- e NH_4^+ nos diferentes sistemas de manejo, profundidades e épocas de coleta. Observaram-se variações sazonais no teor de NO_3^- no solo, porém os teores de NH_4^+ foram sempre superiores aos de NO_3^- , e para ambos os íons os maiores valores foram encontrados no início do período chuvoso com maiores acúmulos nas profundidades superficiais entre 5-10 e 10-20 cm de profundidade.

Palavras - chave: Sistemas agroflorestais. Fluxo sazonal de NO_3^- . Cultura do arroz

3.2. ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the N uptake of two rice varieties differing in the N storage and remobilization during the "flush" of NO_3^- in field conditions under alley cropping system. Experiments were carried out for two consecutive years (2008/2009) in the Experimental Campus of the Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Maranhão. The experimental design was composed of random blocks sub-subdivided with three treatments and four repetitions, with absence or presence of alleys combined together, and the following treatments: Philippine pigeonwings + Leucaena (S + L) Acacia + Leucaena (H + L) and testimony, no legume trees; plus two secondary treatments (local and improved varieties of rice). The following variables were analyzed: activity of nitrate reductase, soluble sugar, N fractions (N- NH_4^+ , N- NO_3^- , N-amino), N-total, N-protein, biomass production, the productivity and the seasonal flow of NO_3^- in the soil. The contents of N in the aerial part and grains were obtained from the product of the N level by the respective biomass. The index of grain crop (reason between mass of grains and total mass of aerial part) and the indexes of N crop (reason among N content in grain and N total content in aerial part) were also calculated. There was no significant difference between treatments for the production of fresh and dry weight of shoots (leaves, sheaths and whole plants), between rice varieties and at different times of sampling, suggesting that the varieties were not affected by addition of material from legume trees. The activity of nitrate reductase (NR) was low; however, there was variation in enzyme activity depending on sampling time. The maximum enzyme activity occurred during grain filling for all farming systems; after this period, it was found a decline in the enzyme activity. The results showed that the largest reductions in content of NO_3^- were observed in the hems, indicating this part as the preferential place for N remobilização in rice. The local varieties (Três Meses and Piauí) always presented lower values of NR activity, and they accumulated more NO_3^- compared to the improved varieties (Bonança and IAC-47). The smallest accumulations of N- NO_3^- , N- NH_4^+ , N-amino and soluble sugars were observed in 2009. The productivity of rice grains was largest for treatments with alleys of legume trees, in relation to the testimony. In the soil significant differences were observed for the levels of NO_3^- and NH_4^+ in the different management systems, depths and sampling times. Seasonal variations were observed in the level of NO_3^- in soil; however the levels of NH_4^+ were always superior to NO_3^- , and for both ions the largest values were found in the beginning of the rainy season with higher accumulations at surface depth between 5-10 and 10-20 cm.

Keywords: Agroforestry system. Seasonal flow of NO_3^- . Rice crop.

3.3. INTRODUÇÃO

Entre as culturas anuais, o arroz (*Oryza sativa*, L) destaca-se por ser a mais importante no mundo, pois constitui a dieta básica de mais de 50% da população mundial (Fageria et al., 2004). No Brasil, o arroz é uma cultura importante tanto do ponto de vista econômica como social, sendo cultivado em dois principais ecossistemas: várzeas e terras altas, predominando o sistema de sequeiro em terras altas (Arf et al., 2002). O Maranhão é o maior produtor de arroz da região Nordeste, ocupando, hoje o terceiro lugar em valor de produção, superado apenas pelos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A importância do arroz é ainda maior para as populações de baixa renda que cultivam este cereal em lavouras de subsistência, utilizando-o como seu principal alimento. A maior parte da produção é obtida em sistemas de cultivo de agricultura familiar ou pequenos produtores, que usam elevado número de cultivares locais.

Segundo Souza et al. (1995) variedades locais de arroz do estado do Maranhão são mais eficientes no uso do N acumulado e, portanto menos dependentes de suplementação externa desse nutriente que variedades melhoradas. Essas variedades de arroz apresentam diferentes respostas ao nitrogênio em termos de acúmulo e redistribuição na matéria seca (Souza et al., 1998). Estes resultados indicam que estas variedades desenvolveram mecanismos que as tornaram mais eficientes na aquisição e uso deste nutriente resultando em teores e qualidade de proteína nos grãos superiores aos encontrados nas variedades melhoradas (Ferraz Jr. et al., 1997; Souza et al., 1998; Souza et al., 1999; Rodrigues et al., 2004). Rodrigues et al. (2004) atribuíram à elevada eficiência do uso de N da variedade local de arroz Piauí quando comparada a IAC-47 à grande capacidade que essa cultivar apresentou para armazenar o N absorvido no estágio inicial de crescimento e remobilizá-lo no final do ciclo para a síntese de proteínas no grão. Esses germoplasmas locais, com sua grande variabilidade genética, constituem fontes de genes de inestimável valor para os programas de melhoramento de arroz no País (Fonseca et al., 1982). Diante disso torna-se importante o estudo dessas variedades locais, a fim de se obter mecanismos de tolerância a estresses ambientais (como déficit hídrico e Al^{+3}) e eficiência de uso de nutrientes (Souza et al., 1998).

O conhecimento do comportamento vegetal no uso de nutrientes permite manusear ou modificar o sistema de cultivo para melhorar a eficiência na utilização de N. Alguns genótipos, por exemplo, têm melhor capacidade de absorção de $N-NO_3^-$, e outros, de $N-NH_4^+$ e produzem mais matéria seca por unidade de N aplicada; outros apresentam maior capacidade de mobilização de N das folhas e de outros órgãos para o grão; outros, ainda, são mais adaptados ao alto suprimento de N, enquanto outros são adaptados a baixos suprimentos (Vose, 1990). O uso de cultivares com uma maior eficiência de uso de Nitrogênio (EUN) pode ser uma estratégia economicamente positiva para a produção de cultivos de baixo valor como os cereais e, além disso, deve-se levar em consideração o benefício ambiental gerado pela diminuição do uso de fertilizantes nitrogenados para o cultivo dessas plantas. Há necessidade de aumentar a eficiência de uso de Nitrogênio (EUN) de cultivos de cereais através de estratégias de manejo de N, métodos de melhoramento de plantas tradicionais ou biotecnologia, enquanto no mínimo mantém, ou otimiza o aumento da produtividade do cultivo (Beatty et al., 2010). Segundo Maxclaux-Daubresse et al. (2008) EUN em plantas depende da disponibilidade de nitrogênio no solo e de como as plantas utilizam o nitrogênio ao longo de sua vida e a conceitua sendo expressa como a proporção de produção (N total da planta, N do grão, produção de biomassa, produção de grãos) e entrada (N total, N do solo ou N aplicado).

A maioria dos ecossistemas naturais e agrários apresenta um ganho expressivo da produtividade após a fertilização com nitrogênio inorgânico, o que demonstra a importância

desse elemento para as plantas (Malavolta, 1981). No entanto, o uso de fertilizantes nitrogenados inorgânicos está associado a uma gama de problemas ambientais e a previsão é de que seu uso vai dobrar ou triplicar nos próximos 50 anos (Tilman et al., 2001). Atualmente, problemas relacionados ao custo destes fertilizantes e a poluição por NO_3^- têm levado à seleção de variedades que absorvam e metabolizem o nitrogênio do solo mais eficientemente.

A disponibilidade de N às plantas e sua relação com o aumento dos componentes de produtividade são os fatores que mais influem no rendimento da cultura do arroz (Fageria & Stone, 2003). Embora a adubação nitrogenada possa suprir as necessidades da planta quando o solo não tem esta capacidade, a resposta da cultura de arroz varia bastante, em função de características do solo, clima, planta e eficiência agrônômica do N (Scivittaro & Machado, 2004). Nas regiões tropicais o conteúdo de nitrato presente no solo pode variar com a sazonalidade de variáveis ambientais como a temperatura e a precipitação que acabam influenciando o processo de assimilação, o consumo e o armazenamento desse íon pelas plantas. Na faixa intertropical úmida a agricultura é feita na estação das chuvas, que está sujeita a diferentes combinações de luz e temperatura (Bastos & Sá, 1971). Estas combinações de luz e temperatura podem ser extremamente desfavoráveis ao crescimento das plantas (Fernandes, 1990). Nessas regiões o início do período chuvoso implica em grande disponibilidade de NO_3^- no solo (Norman & Wetselaar, 1960), ocasionando fluxos sazonais de NO_3^- na superfície, fenômeno esse conhecido como “flush” de N-NO_3^- sendo observado por vários autores em diferentes países (Wetselaar, 1970; Chikowo et al., 2004). Desta forma, com a chegada das chuvas o N está sujeito à lixiviação mais intensa, permanecendo no solo em concentrações mínimas, condições nas quais é desenvolvida a agricultura sem adição de fertilizantes. Assim o N torna-se disponível para as plantas apenas no início do período úmido, devendo ser absorvido rapidamente.

Plantas adaptadas a ambientes onde ocorre esse fluxo inicial de nitrato parecem ter desenvolvido mecanismos bioquímicos para alta atividade das ATP-ase vacuolares, associados à extrusão de prótons e ao acúmulo de NO_3^- nos vacúolos (Rodrigues, 2005). Esse mecanismo permite que as plantas acumulem o N excedente na fase inicial de crescimento e o remobilize depois para atender à elevação da demanda metabólica na fase de crescimento.

Para alcançar a sustentabilidade agrícola, procuram-se alternativas tecnológicas de baixa necessidade energética. Estas incluem sistemas apropriados de produção, espécies ou variedades adequadas ao solo e clima, cultivo conservacionista e de baixo custo, uso correto de insumos e maximização da utilização dos processos biológicos (Silveira & Moreira, 1996).

Os sistemas agroflorestais têm sido recomendados como solução e/ou alternativa para recuperar áreas degradadas, com potencial de gerar maior produtividade agrícola, florestal e pecuária. Podem ser também alternativa de investimento para a diversificação da renda para os agricultores (Bentes-Gama et al., 2005), além de ser importante no seqüestro de carbono e na atenuação da emissão dos gases de efeito estufa provenientes do solo nos trópicos.

No Estado do Maranhão, o cultivo em aléias tem se mostrado uma alternativa promissora para substituição do modelo itinerante de corte e queima largamente praticado no trópico úmido (Ferraz Jr, 2006; Aguiar, 2006). O sistema combina em uma mesma área espécies arbóreas, preferencialmente leguminosas e culturas anuais ou perenes. Pressupõe-se que a utilização de culturas de leguminosas para cobertura do solo em sistema de aléias, resultará num incremento da disponibilidade de N, devido aos altos conteúdos de N presente na biomassa (Nutman et al., 1976), e à rápida decomposição dos seus resíduos devido a baixa relação C:N. Desta forma, a inclusão de leguminosas promoverá um aumento dos rendimentos e na produção dos resíduos, permitindo economia em N mineral.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a absorção de N (N-NH_4^+ e N-NO_3^-) por variedades de arroz diferentes quanto à capacidade de armazenamento e remobilização durante o “Flush” de NO_3^- em condições de campo sob sistema de cultivo em aléias.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1. Localização e caracterização da área de estudo

O experimento foi desenvolvido em condições de campo por dois anos consecutivos (2008/2009) no período de janeiro a maio no município de São Luis, Estado do Maranhão (2°32'S e 44°16'O) em solo de baixa fertilidade natural classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006) (Figura 1). A área experimental localizou-se no Campus da Universidade Estadual do Maranhão e vem sendo trabalhada em sistema de cultivo em aléias com leguminosas desde o ano de 2002 quando o sistema foi implantado. Nesse experimento foram utilizadas três espécies de leguminosas com produção de resíduos diferentes quanto à qualidade: a Leucena (*Leucaena leucocephala*, (Lam.) R. de Wit), o Sombreiro (*Clitoria fairchildiana*, Howard), e a Acácia (*Acácia mangium*, Willd). Nas entrelinhas dessas espécies foram plantadas duas variedades de arroz (*Oryza sativa*, L) de sequeiro, sendo uma “local” e outra “melhorada”, cultivadas no Estado do Maranhão.

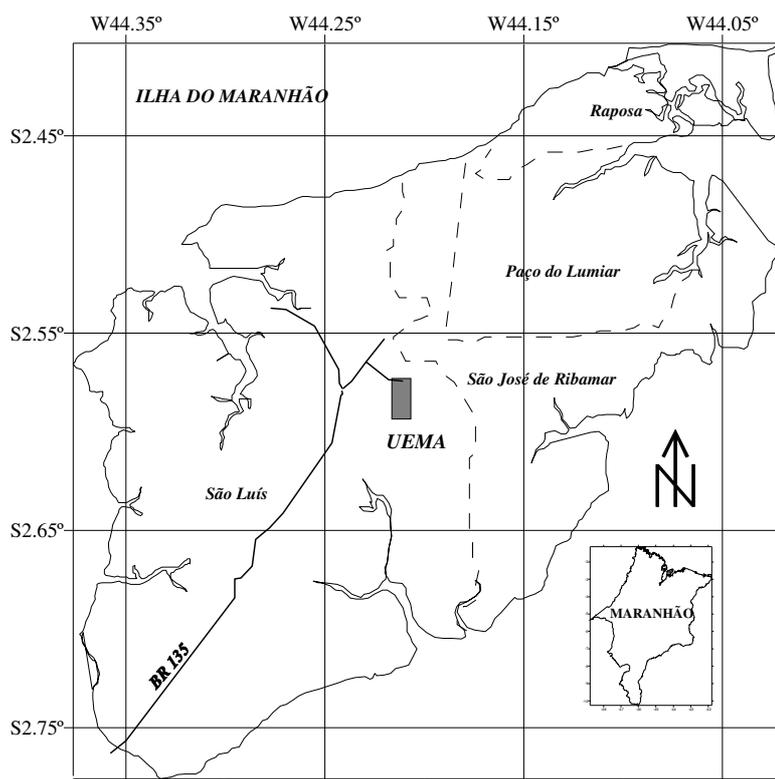


Figura 1 - Localização do experimento em aléias no município de São Luis-MA.

Antes de instalar o experimento com arroz, foram coletadas amostras de solo em diferentes profundidades de todas as parcelas para caracterização química e física do solo. As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade da UEMA, São Luis-MA, sendo as análises físicas realizadas pelo método da EMBRAPA (1997) e as análises químicas pela metodologia descrita por Raij et al. (2001). Os valores dos principais atributos físicos e químicos descritos pela análise encontram-se a seguir (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Resultado da análise química do solo antes da instalação do experimento, no sistema em aléias, no município de São Luis-MA no primeiro e segundo ano do experimento.

Prof. (cm)	Tratamento	M.O. g/dm ³	pH CaCl ₂	P mg/dm ³	mmol _c /dm ³								V %
					Ca	Mg	K	H+Al	Al	SB	CTC		
Ano 2008													
0-5	Somb. + Leucena	24	4,2	38	16	3,0	0,7	36	1	19,7	55,7	35	
	Acácia + Leucena	27	4,4	62	23	5,0	0,7	34	1	28,7	62,7	46	
	Testemunha	17	4,3	26	15	2,0	0,5	27	1	17,2	44,2	39	
5-10	Somb. + Leucena	14	4,0	29	9,0	2,0	0,3	31	2	11,3	42,3	27	
	Acácia + Leucena	15	4,1	37	10	2,0	0,4	28	3	12,4	40,4	31	
	Testemunha	11	4,1	23	7,0	1,0	0,3	28	3	8,3	36,3	23	
10-20	Somb. + Leucena	11	4,1	7	5,0	1,0	0,4	29	5	6,4	31,4	20	
	Acácia + Leucena	11	4,2	13	5,0	1,0	0,4	25	3	6,4	31,4	20	
	Testemunha	11	4,0	8	4,0	1,0	0,3	28	3	5,3	33,3	16	
20-40	Somb. + Leucena	9,0	4,0	12	4,0	1,0	0,2	32	4	5,2	37,2	14	
	Acácia + Leucena	10	4,0	11	4,0	1,0	0,3	32	2	5,3	37,3	14	
	Testemunha	9,0	4,0	5,5	4,0	1,0	0,2	31	2	5,2	36,2	14	
Ano 2009													
0-5	Somb. + Leucena	28	5,2	22	36	15	1,0	28	1	56	84	67	
	Acácia + Leucena	32	4,2	80	24	8,0	0,7	45	1	32,7	77,7	42	
	Testemunha	20	4,4	65	18	8,0	0,5	40	1	26,5	66,5	40	
5-10	Somb. + Leucena	22	4,1	17	16	8,0	0,6	38	1	24,6	62,6	39	
	Acácia + Leucena	21	4,0	50	15	6,0	0,6	38	2	21,6	59,6	36	
	Testemunha	20	4,1	39	10	4,0	0,3	38	2	14,3	52,3	27	
10-20	Somb. + Leucena	16	4,1	16	9,0	9,0	0,4	34	2	18,4	52,4	35	
	Acácia + Leucena	12	4,6	40	9,0	4,0	0,2	28	2	13,2	41,2	32	
	Testemunha	15	4,1	29	7,0	4,0	0,2	38	3	11,2	49,2	23	
20-40	Somb. + Leucena	14	4,0	13	9,0	6,0	0,4	40	3	15,4	55,4	28	
	Acácia + Leucena	13	4,2	23	6,0	4,0	0,2	29	3	10,2	39,2	26	
	Testemunha	17	4,0	24	6,0	4,0	0,3	36	3	10,3	46,3	22	

MO= Matéria orgânica; V= Saturação de bases; S.B.= Soma de bases; T= Capacidade de Troca de Cátions pH 7,0 ;. Extrator: Resina. Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo – UEMA – São Luís (MA)

Tabela 2. Resultado da análise física do solo antes da instalação do experimento, no sistema em aléias, no município de São Luis-MA.

Prof. cm	Tratamento	Composição Granulométrica				Textura	Densidade		Porosidade %
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila		Aparente	Real	
		g.kg ⁻¹				g.cm ⁻³			
0-5	Somb.+leuc.	210	480	180	130	Areia franca	1,46	2,64	44,70
	Acácia+leuc	300	510	90	100	Areia franca	1,49	2,63	45,21
	Testemunha	220	460	210	110	Areia franca	1,46	2,64	44,78
5-10	Somb.+leuc.	240	500	160	100	Areia franca	1,45	2,63	44,98
	Acácia+leuc	350	520	30	100	Areia franca	1,45	2,63	44,87
	Testemunha	320	540	50	90	Areia franca	1,44	2,62	45,22
10-20	Somb.+leuc.	240	480	180	100	Areia franca	1,45	2,62	45,98
	Acácia+leuc	350	520	30	100	Areia franca	1,45	2,63	44,87
	Testemunha	300	560	60	80	Areia franca	1,45	2,61	45,20
20-40	Somb.+leuc.	260	430	210	100	Areia franca	1,48	2,64	43,94
	Acácia+leuc	250	520	130	100	Areia franca	1,42	2,63	46,11
	Testemunha	310	530	40	130	Areia franca	1,48	2,61	43,25

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo – UEMA – São Luís (MA).

As análises foram feitas separadamente para as diferentes profundidades em todos os tratamentos até os 40 cm superficiais do solo para cada um dos parâmetros químicos e físicos. Independente do tratamento com ou sem aléias o solo da área experimental é distrófico (Valor $V < 50\%$), com baixos teores de cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}), potássio (K^+) e matéria orgânica (M.O.) e apresenta acidez elevada com maiores concentrações nos teores de alumínio em profundidade.

O solo da área não possui erosão aparente, é bem drenado e de textura arenosa sem grandes variações no teor de argila em profundidade. No entanto, tendo em vista tratar-se de um solo bastante arenoso e de baixa fertilidade natural, os teores de fósforo disponíveis na área são elevados provavelmente devido a aplicação de adubos em anos anteriores.

3.4.2. Clima: temperatura, precipitação média e balanço hídrico

O clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW', equatorial quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma estação chuvosa compreendida entre os meses de janeiro e junho, período em que ocorre excesso de água no solo que totaliza 1167 mm e uma estação seca, com déficit hídrico de 440 mm entre julho e dezembro.

De acordo com as normais climatológicas referentes ao período de 1961-1990, segundo INMET (2009) o total pluviométrico médio anual é da ordem de 2290 mm, sendo que em torno de 88% desse total ocorre durante a estação chuvosa. A temperatura média mensal não apresenta grandes flutuações ao longo do ano, oscilando em média entre 25,8°C durante a estação chuvosa e 26,2°C durante a estação seca, com média anual de 26,1°C, sendo que as médias das máximas variam de 29,4°C em março a 31,4°C em novembro, enquanto que as temperaturas mínimas variam entre 22,6°C em julho e 24°C em novembro.

A umidade relativa do ar é normalmente elevada durante todos os meses do ano variando entre 88% durante a estação chuvosa e 82% durante a estação seca, com média anual de 85%. Durante a estação chuvosa devido a grande nebulosidade sobre a região a insolação média é da ordem de 144 horas, por outro lado durante a estação seca há redução de nebulosidade aumentando dessa forma a insolação média para 242 horas. As estimativas da evapotranspiração potencial, baseadas na temperatura do ar, indicam valores médios em torno

de 124 mm durante a estação chuvosa e de 135 mm durante a estação seca, com total anual de 1553 mm (INMET, 2009).

Os dados climatológicos mensais referentes à precipitação pluvial, temperatura do ar e radiação solar durante o período experimental para o município de São Luís nos dois anos de condução do experimento foram obtidos do acervo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – INPE/CPTEC acessado via internet pelo site <http://www.cptec.inpe.br> e National Centers for Environmental Prediction - NCEP (http://nomad3.ncep.noaa.gov/cgi-bin/pdisp_mp_r2.sh) (Figuras 2 e 3).

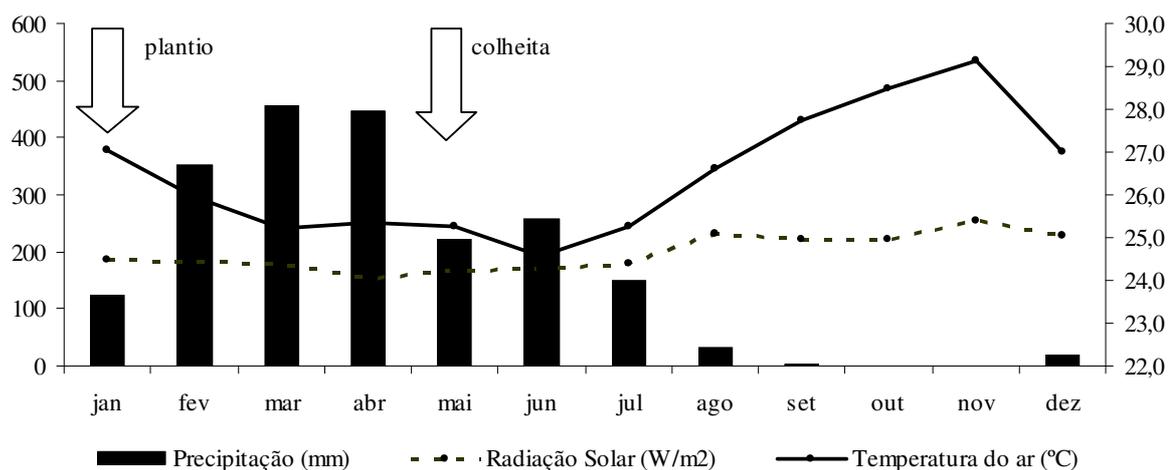


Figura 2 - Totais mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar e radiação solar em São Luís-MA no ano de 2008. Fonte dos dados: INPE/CPTEC

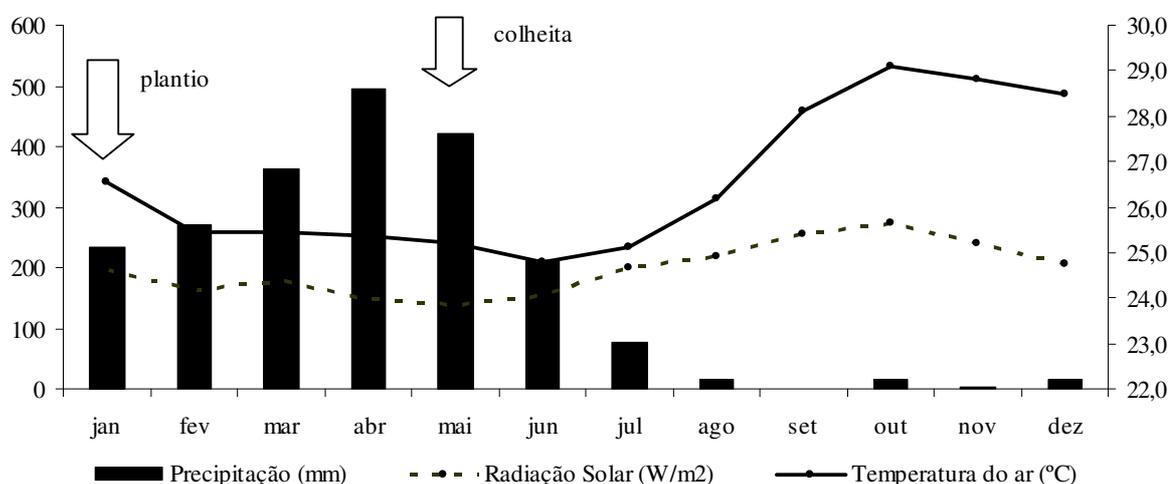


Figura 3 - Totais mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar e radiação solar em Luís-MA no ano de 2009. Fonte dos dados: INPE/CPTEC.

3.4.3. Histórico da área experimental

A área experimental consistiu de experimento com leguminosas em aléias implantadas em janeiro de 2002, no início do período chuvoso, constituído por seis tratamentos, cada um correspondendo a uma combinação de duas espécies de leguminosas em aléias. Nesse experimento foram avaliadas duas espécies de leguminosas de alta qualidade de resíduos - *Leucaena leucocephala* (leucena) e *Cajanus cajan* (guandu) e duas espécies de baixa qualidade de resíduos - *Clitoria fairchildiana* (sombreiro) e *Acacia mangium* (acácia). Elas foram combinadas entre si, nos seguintes tratamentos: Sombreiro + Guandu (S+G); Leucena + Guandu (L+G); Acácia + Guandu (A+G); Sombreiro + Leucena (S+L); Leucena + Acácia (L+A) e a Testemunha, sem leguminosas. As sementes de leucena e sombreiro foram coletadas de espécies locais. Para a semeadura do guandu foi utilizada a cultivar taifeiro e para o plantio da acácia foram utilizadas mudas de dois meses de idade, produzidas localmente (Moura, 2004).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. As leguminosas foram dispostas em linhas simples, espaçadas de 0,5m entre plantas e 4m entre linhas, em parcelas de 21 x 4m.

Em 2003, foi feita a calagem do solo com aplicação superficial, de cal hidratada, na dosagem de 1 Mg ha⁻¹, com 30% de CaO e 22% de MgO, o que equivale a 214kg de cálcio e 132kg de magnésio. A partir desse ano a área foi plantada em janeiro de cada ano tendo como cultura principal o milho (*Zea mays*), e a cultura do arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.), (Aguiar, 2006).

As adubações nas semeaduras nos anos de 2003 e 2004 foram de 250 e 200 kg ha⁻¹ da fórmula 10-25-15 + 0,05% Zn (NPK + Zn), respectivamente para o milho e arroz. A adubação de cobertura foi de 30 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio. No ano de 2005 a adubação de semeadura foi de 30-80-40-04 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e Zn, nas formas de uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de zinco, respectivamente, para a cultura do milho. Para o arroz foi usado 20-50-40-04 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e Zn, também nas formas de uréia, superfosfato simples, cloreto de potássio e sulfato de zinco. Para adubação de cobertura foram usados 40 e 30 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, respectivamente, para o milho e o arroz. No ano de 2006, a adubação de semeadura foi de 30-80-40-04 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e Zn e 20-50-40-04 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O e Zn nas formas de uréia, MAP, cloreto de potássio e gramozinco a 10%, respectivamente, para a cultura do milho e arroz. Para a adubação de cobertura foram usados 50 e 40 kg ha⁻¹ de N, tendo como fonte a uréia, respectivamente, para o milho e o arroz (Aguiar, 2006).

Os cortes das leguminosas foram realizados em janeiro de 2004, 2005 e 2006, após a germinação das culturas de milho e arroz, à altura de aproximadamente 50 cm. O corte não foi realizado em 2003 devido ao difícil estabelecimento das leguminosas, principalmente da leucena, devido à baixa fertilidade natural do solo. No ano de 2006 a leucena sofreu um segundo corte aos 35 dias do plantio das culturas, para evitar o sombreamento. As quantidades de biomassa, em kg.parcela⁻¹ da massa fresca, produzidas e aplicadas ao solo foram igualmente distribuídas entre todas as parcelas de cada tratamento (Aguiar, 2006).

No ano de 2007, entre as leguminosas foi cultivada mandioca. As adubações aplicadas às parcelas foram de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 40 kg ha⁻¹ de K₂O e 3 kg ha⁻¹ de Zn (Moura 2009).

Em janeiro de 2008, instalou-se o experimento objetivo dessa pesquisa, com as duas variedades de arroz (local e melhorada) utilizando-se apenas as parcelas resultantes da combinação *Leucaena leucocephala* (leucena); com a *Clitoria fairchildiana* (sombreiro) e a *Acacia mangium* (acácia) mais a testemunha. As parcelas com *Cajanus cajan* (guandu) não foram utilizadas devido ao grande número de plantas mortas dessa leguminosa.

3.4.4. Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso em parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas de 40m² (10x4m) constituíram-se de três tratamentos principais (ausência e presença de aléias combinadas entre si, nos seguintes tratamentos: Sombreiro + Leucena (S + L); Acácia + Leucena (A+ L) e Testemunha (sem leguminosas). Cada parcela dos tratamentos principais foi subdividida em duas subparcelas de 20m² (5x4 m), onde foram implantados os dois tratamentos secundários, que corresponderam às duas variedades de arroz (local e melhorada), utilizadas em 2008 e 2009.

Cada unidade experimental foi constituída pela entrelinha de leguminosas espaçadas de 4m com 10 m de comprimento, com duas plantas de leguminosa por metro linear. Entre as fileiras de leguminosas, foram semeadas dez fileiras de arroz, espaçadas entre si em 0,4m. Considerou-se como área útil, as seis fileiras centrais descartados 0,5m das suas extremidades.

3.4.5. Variedades estudadas

Inicialmente foram selecionadas para essa pesquisa duas variedades de arroz (IAC-47, melhorada e Piauí, local) já cultivadas no Estado do Maranhão e que vem sendo amplamente estudadas pelo grupo de pesquisa em nutrição mineral de plantas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, mostrando comportamento diferenciado. A variedade Piauí, adaptada as condições do Trópico Úmido e a variedade IAC-47, que tem sido tradicionalmente cultivada em sequeiro, mas que é produto de melhoramento genético sob condições ótimas de cultivo (Ferraz Jr et al., 1997), as duas sementes das variedades foram fornecidas pelo Banco de Germoplasma do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP – EMBRAPA).

No ano de 2008, primeiro ano do experimento, devido a dificuldades com a reprodução das sementes selecionadas previamente, utilizou-se outras variedades cultivadas pelos agricultores do Estado, a variedade “Três Meses”, local e a variedade “Bonança”, melhorada pela EMBRAPA Arroz e Feijão.

A variedade Bonança (melhorada) é semi-precoce (ciclo em torno de 118 dias) de grãos intermediários entre médio e longo-fino. Apresenta o porte baixo, resistente ao acamamento, com ampla adaptação a sistemas de manejo e tipos de solo, sendo bastante cultivada pelos agricultores locais do Estado. A variedade Três Meses é precoce com ciclo de vida em torno de 90 dias, é uma variedade local com suscetibilidade mediana ao acamamento e características morfológicas muito peculiares apresentando grãos curtos e chatos, conhecidos como “grão chatão”, um pouco maior que o tradicional e de cor branca. As panículas são poucas e grandes e ficam expostas, ou seja, fora da folha bandeira de forma que facilita a colheita para o agricultor cacho a cacho.

No ano de 2009, foram utilizadas as variedades Piauí (local) e a variedade IAC-47 (melhorada). A variedade Piauí é oriunda do Estado do Maranhão e apresenta tolerância a Al⁺³ (Mendonça Santos, 1991) com teores elevados de proteína no grão (Ferraz Jr. et al., 2001). Tais plantas adaptadas as condições do trópico úmido apresentariam melhor eficiência no uso de nitrogênio, o que estaria relacionada à maior eficiência de N na assimilação, uma vez que essas plantas não teriam sido melhoradas sob pressão de elevados níveis de N (Ferraz Jr., 1997). A variedade IAC-47 oriunda do melhoramento genético, apresenta maior capacidade de absorção de N (Ferraz Jr. et al., 1997).

3.4.6. Semeadura

O plantio das variedades de arroz foi feito em janeiro/2008 e janeiro/2009 e a semeadura foi realizada em cova, usando-se a semeadura manual com 6 a 7 sementes/cova, deixando-se 2 plantas/cova após o desbaste. A adubação de semeadura constituiu-se na

aplicação de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 5-25-15 + 0,05% Zn. Na ocasião da semeadura os galhos mais grossos de resíduo vegetal existente nas parcelas foram retirados da área para facilitar a germinação das sementes. A germinação ocorreu de forma muito irregular entre 15 e 20 dias após a semeadura.

3.4.7. Corte das leguminosas

Para evitar o sombreamento das plantas de arroz, as leguminosas foram podadas manualmente vinte dias após o plantio. O material podado (folhas e ramos com até 1,5 cm de diâmetro) foi utilizado como adubação verde e colocado nas parcelas dos tratamentos com aléias (S+L e A+L). Após o corte todo o material foi pesado retirando-se por parcela uma amostra para cada espécie de aproximadamente 1000g (1kg) para determinação da massa seca das leguminosas e determinação do teor de N, C e relação C/N. Como as plântulas estavam muito pequenas o restante da biomassa foi empilhado na parte externa de cada parcela para posteriormente serem espalhados nas parcelas. As amostras foram levadas para estufa com ventilação forçada a 65°C, por 72 horas, e após a secagem foram pesadas, trituradas em moinho e armazenadas para proceder-se as determinações dos teores de C (Cantarella et al., 1999) e N-total (Tedesco, 1995). Quando as plântulas atingiram em torno de 30 cm de altura o material empilhado foi novamente pesado e igualmente distribuído em superfície nas parcelas por tratamento.

3.4.8. Amostragem e determinações analíticas no material vegetal

Foram efetuadas três coletas com intervalos de 30 a 35 dias de cada variedade de arroz nas sub-parcelas dos tratamentos principais nas três fases de desenvolvimento da planta: uma no início do período reprodutivo, por ocasião da antese, a segunda no período de enchimento dos grãos e a última ao final do ciclo da planta na maturação dos grãos. Em cada coleta as plantas foram cortadas rente ao solo e separadas em suas partes vegetativas: folha, bainha (bainha+colmo) e panícula. A coleta final do experimento se deu quando os grãos se encontravam maduros em torno de 60 dias depois da antese (DDA).

Durante a condução do experimento foram avaliadas, as frações nitrogenadas (frações solúveis de N, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, aminoácidos livres, e N protéico); açúcar solúvel (Yemm & Cocking, 1955) biomassa da parte aérea; atividade da Nitrato Redutase in vivo (Jaworski, 1971), na folha e bainha, e produtividade.

3.4.9. Parte aérea

a) Biomassa da parte aérea

Em cada período de amostragem determinou-se o peso fresco da parte aérea e após pesagem todo material foi colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar a 60°C. O peso seco foi utilizado para a determinação de produção de massa seca nas diferentes partes da planta (folha, bainha, panícula e planta inteira) e posteriormente todo o material foi moído e armazenado. Desse material, amostras de 200mg foram digeridas em ácido sulfúrico concentrado e água oxigenada, determinando-se o N-total por destilação (Tedesco, 1983).

b) Atividade da nitrato redutase

A atividade da enzima nitrato redutase na folha e bainha, foi avaliada em três diferentes épocas de acordo com Jaworski (1971), na antese, no período de enchimento dos grãos (30 dias após a antese) e por ocasião da maturação dos grãos (senescência). O método é baseado no princípio de que a concentração de nitrito (NO₂⁻) liberada por fragmentos de tecidos foliares de peso conhecido em uma solução tampão, na presença de um agente permanente (propanol) e do substrato (NO₃⁻), reflete a atividade potencial da Nitrato Redutase

in vivo. A atividade da enzima é estimada pela quantidade de NO_2^- liberada em solução de incubação, medida em espectrofotômetro, a 540 nm, e expressa em $\mu\text{moles de NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ p.f. h}^{-1}$.

As plantas foram coletadas no período entre 08:00h da manhã e 14:00h da tarde, considerando que a atividade da enzima é sensivelmente afetada pela luz. As plantas expostas a luz solar foram cortadas rente ao solo acondicionando-se as plantas em isopor contendo gelo levando-se imediatamente para o laboratório onde se procedeu a separação em folhas, bainhas e panículas quando existente para pesagem. Após a pesagem de cada amostra de folha e bainha foram eliminadas a base e o ápice ficando a parte central restante para ser usado na determinação da atividade da enzima nitrato redutase e extração alcoólica. Desse material pesou-se separadamente 200 mg de tecido vegetal (folha e bainha), colocaram-se em tubo contendo 5 mL da solução incubadora (Tampão Fosfato 0,1 M, pH 7,5 + n-propanol (2%) + KNO_3 0,02 M). Posteriormente as amostras foram incubadas em banho-maria a 30°C por 30 minutos, envoltos em papel alumínio. O NO_3^- foi utilizado no meio de incubação para se medir a atividade potencial da enzima. Após a incubação, retirou-se uma alíquota de 0,4 ml da amostra e transferiu-se para o tubo de reação para a determinação de NO_2^- formado acrescentando-se 0,3 mL de sulfanilamida (1%), e 0,3 ml de n-naftil-etileno-diamino (0,02%), deixando-se em repouso por 20 minutos. Em seguida foram adicionados 4 ml de água destilada, e após a homogeneização, a leitura foi feita em espectrofotômetro a 540 nm, sendo a atividade da enzima determinada pela quantidade de nitrito (NO_2^-) produzida por grama de tecido de folha fresca por hora.

c) Extração alcoólica

A extração alcoólica e a partição com clorofórmio foram realizadas segundo Fernandes, (1984). Após a determinação da massa fresca, de cada planta foi pesado separadamente 1g de folha e bainha que foram colocados em 20 ml de etanol (80%) e armazenado em frascos plásticos mantidos em geladeira para posteriormente sofrerem partição em clorofórmio (Fernandes, 1984) e a fração solúvel obtida utilizada para determinação dos teores de N-NO_3^- , N-NH_4^+ , N-amino e açúcar solúvel. O restante do material foi posto para secar em estufa e moído para determinação do N-protéico.

Para a extração cada amostra foi triturada e filtrada em camadas duplas de gaze e papel filtro. Posteriormente, as amostras foram transferidas para funil de separação onde adicionou-se igual volume de clorofórmio. Após agitação suave, foi deixado em repouso por aproximadamente 40 minutos, quando se descartou a fração apolar. A fração polar (sobrenadante) foi recolhida e elevada a um volume final de 25 mL, com etanol (80%) sendo em seguida armazenado em geladeira para a determinação dos teores de N-amino, N-NH_4^+ , N-NO_3^- , e açúcar solúvel. O material vegetal retido na gaze por ocasião da filtragem foi colocado em estufa de circulação de ar a 65°C para secagem por 48 horas e após esse período separado e armazenado para determinação do N-protéico na folha e bainha.

d) Determinação das concentrações de N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, N-amino, açúcar solúvel, N-total e N-protéico na parte aérea (folha e bainha).

A determinação do N na forma de nitrato foi realizada segundo Cataldo et al. (1975). Uma alíquota de 0,1 ml da solução obtida do extrato alcoólico foi colocada em tubo de ensaio, adicionando-se vagarosamente, 0,4ml da solução de ácido salicílico (5%) em H₂SO₄ concentrado. A mistura foi deixada em repouso por 20 minutos em temperatura ambiente, acrescentando-se lentamente 9,5 ml de NaOH 2N. Após o resfriamento da amostra, foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 410 nm utilizando o KNO₃ como padrão.

Para a determinação do N na forma de amônio seguiu-se o método de Mitchell (1972), sendo a solução de hipoclorito de sódio substituída por dicloroisocianurato de sódio (Felker, 1977), pois em clima tropical o hipoclorito de sódio perde rapidamente seu poder oxidante. A determinação foi realizada utilizando-se duas soluções. A “Solução A” constituída de 5g de fenol e 0,025 g de nitroprussiato de sódio em 500 ml de água deionizada, e a “Solução B”, composta de 15g de NaOH e 0,31g de dicloroisocianurato de sódio em 500 ml de água deionizada. Um a alíquota de 0,5 ml da solução obtida do extrato alcoólico foi acrescentada a 2,5 ml da cada solução, após homogeneização e descanso por 30 minutos, as amostras foram lidas em espectrofotômetro a 630 nm e o NH₄Cl (5mM) foi utilizado como padrão.

A determinação do N-amino foi realizada de acordo com Yemm & Cocking (1955), em tubo pyrex com 0,5 ml de tampão citrato (0,2 M; pH 5,0), 1ml da solução obtida do extrato alcoólico (diluída quando necessário), 1,2 ml do reagente metil celossolve (100%) + KCN (0,01 M) + ninidrina (5%). A mistura foi agitada e todos os tubos foram fechados com papel alumínio e colocados para aquecer em banho-maria a 100^oC por 15 minutos. Após esse período, os tubos com as amostras foram resfriadas em água corrente por 5 minutos, quando então foram acrescentados 3 ml de etanol (60%). A mistura foi homogeneizada e levada para a leitura em espectrofotômetro a 570 nm. A leucina foi utilizada como padrão.

A determinação do açúcar solúvel foi realizada segundo Yemm & Willis (1957). Foram adicionados em tubos pyrex de 2,5 cm de diâmetro imersos em banho de gelo, 5 ml do reagente de antrona (2% em H₂SO₄ 5:2), e após 5 minutos de repouso, foi adicionado lentamente 1 ml da solução obtida do extrato alcoólico, deixando-se em repouso 5 minutos a 5^oC. Em seguida, as amostras foram colocadas em banho-maria a 100^oC para desenvolvimento da cor verde característica. Após resfriamento em água corrente, a leitura foi feita em espectrofotômetro a 620 nm. A glicose foi usada como padrão.

O nitrogênio total e o N-protéico foram determinados pelo método Kjeldahl (Tedesco, 1998). Foram pesados 0,2g de material vegetal seco e moído e transferiu-se para tubos de digestão, no qual foram adicionados 1,5 ml de ácido sulfúrico concentrado, 1 ml de peróxido de hidrogênio 30% e 0,7 g de mistura catalisadora (100g de sulfato de sódio, 10 g de sulfato de cobre e 1g de selênio). A temperatura foi aumentada de 25 em 25^oC por aproximadamente 30 minutos até atingir 350^oC. Para a destilação utilizou-se o volume de NaOH (50%) suficiente para neutralizar o ácido e deixar o meio alcalino, liberando assim amônia (NH₃), a qual foi fixada em solução indicadora de ácido bórico. Em seguida, fez-se a titulação com H₂SO₄ 0,05N.

O conteúdo de N na planta toda excluindo grão foi calculado multiplicando-se o teor de N-total da parte aérea pelos respectivos pesos da matéria seca e o resultado expresso em mg de N/kg de massa fresca.

3.4.10. Grãos

Por ocasião da última coleta selecionou-se uma área de 2m² dentro de cada subparcela para coleta dos grãos de arroz (25 plantas/subparcela). Em cada subparcela as plantas foram cortadas rente ao solo e separadas as panículas da parte aérea. Para o cálculo da

produtividade as panículas foram pesadas, separadas os grãos cheios e chochos, e feita a pesagem do arroz correspondente a cada área da subparcela (2m²), após a pesagem o arroz foi colocado para secar em estufa de circulação de ar por 48 horas a 60°C e depois de seco os grãos foram novamente pesados fazendo-se a extrapolação para um Hectare (10.000m²) e determinando-se ainda o peso de 1000 grãos.

Os grãos maduros e secos foram descascados e moídos e na farinha de arroz obtida determinou-se o N-total do grão e a percentagem de proteína bruta dos grãos através do N-total obtido por digestão sulfúrica (Tedesco, 1998), multiplicado por 5,95 (fator baseado em 16,8% de N da glutelina, a principal proteína de reserva do arroz – Juliano, 1985).

O conteúdo de N no grão (NG) foi calculado multiplicando-se o teor de N do grão pela massa seca do grão e o resultado expresso em mg de N/kg de planta.

3.4.11. Cálculo dos índices usados na partição de carbono e nitrogênio

Foram calculados para todas as variedades, nos três tratamentos os seguintes índices usados para partição de carbono e nitrogênio, visando alta produção de grãos e ou alto teor de proteína bruta:

- 1- Índice de colheita de grão (ICG), obtido pela razão entre a produção de grãos (em g/planta) e a massa de matéria seca total da parte aérea incluindo grãos (em g/planta);

$$\text{ICG} = \frac{\text{Produção de grãos}}{(\text{MSPA} + \text{MSG})}$$

- 2- Índice de colheita de N (ICN), obtido pela razão entre o conteúdo de N do grão (NG) e o conteúdo total de N na parte aérea (NTPL) incluindo o conteúdo de N do grão;

$$\text{ICN} = \frac{\text{Conteúdo de N grão}}{(\text{conteúdo de N parte aérea})}$$

- 3-Razão entre ICN/ICG

- 4- Eficiência de Uso de N: razão entre a produção de espiguetas/vaso e o conteúdo de N na parte aérea

- 5- Eficiência de Remobilização de N

3.2.12. Amostragem e determinações analíticas de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ no solo

Para verificar o “flush” ou “pool” de nitrato no solo as coletas de solo iniciaram-se no final do período seco com intervalos de coletas de 15 dias, e logo após as primeiras chuvas (uma semana após). Foram feitas três coletas em cada ano. As primeiras coletas foram feitas em janeiro/2008, antes da implantação do experimento no primeiro ano. No final do ano de 2008 procederam-se novas coletas no fim do mês de novembro, e início de dezembro e logo após as primeiras chuvas em dezembro de 2008. Em novembro e dezembro/2009, novas coletas foram feitas adotando-se a mesma metodologia dos anos anteriores. A amostragem foi realizada com trado retirando-se 15 subamostras por parcelas nas quatro repetições para constituir uma amostra composta nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, adicionando-se em cada amostra por ocasião da coleta uma pequena quantidade (1mL) de tolueno para inibir a atividade microbiana, posteriormente essas amostras foram acondicionadas em geladeira até o procedimento de extração. Por ocasião das coletas de solo foram separadas ainda amostras para determinação da umidade através do método da estufa a 105°C por 24 horas.

Para determinação do NO_3^- , a extração foi feita com KCl 2M (Alves et al.,1994). Pesou-se 30g de solo em um erlenmeyer de 250 mL, adicionou-se 150 mL da solução de KCl 2M agitando-se a 210 rpm por 1hora. Após a decantação as amostras foram filtradas e guardadas em freezer até a determinação analítica. Para análise utilizou-se o método de determinação por arraste de vapor com MgO calcinado e Liga de Devarda para extração da fração amoniacal e nítrica respectivamente, e para quantificação dessas frações minerais, titulou-se o coletado em ácido bórico contra ácido sulfúrico 0,005N padronizado.

Os dados climatológicos referentes às precipitações e temperatura diária dos meses em que foram feitas as coletas de solo durante os dois anos do experimento encontram-se distribuídas nas figuras 4 a 9.

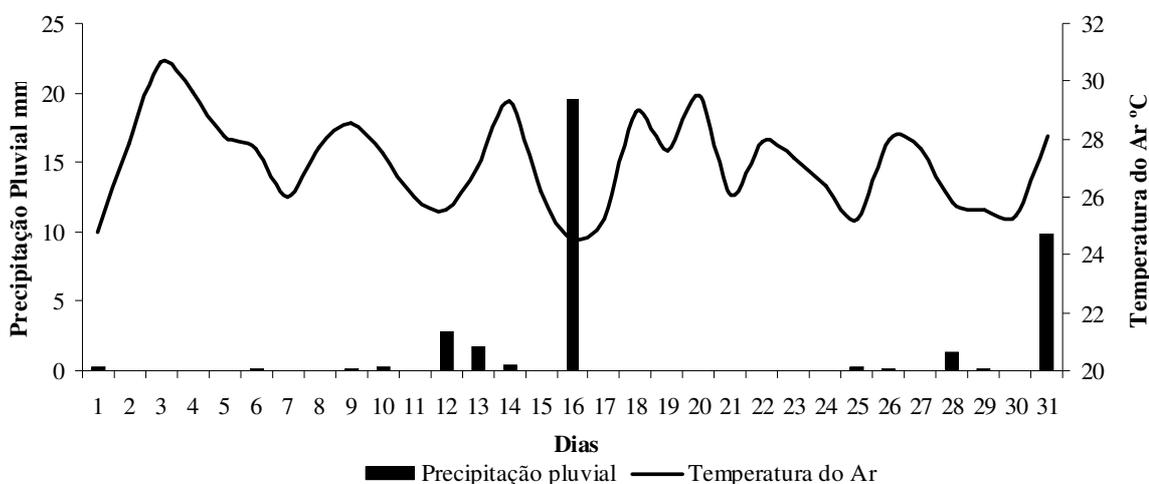


Figura 4 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Dezembro de 2007.

a) Coleta realizadas no início do ano de 2008.

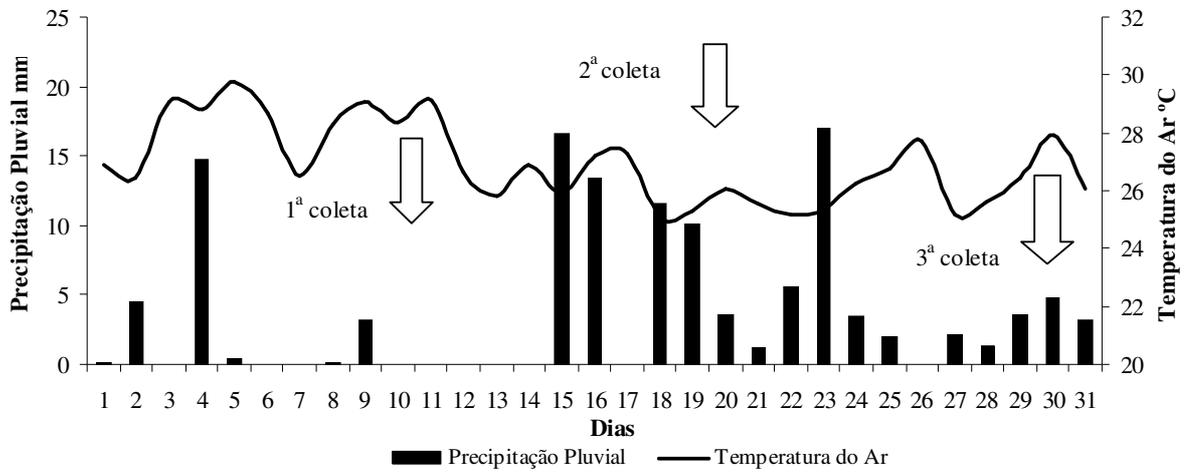


Figura 5 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Janeiro de 2008.

b) Coletas realizadas no final do ano de 2008

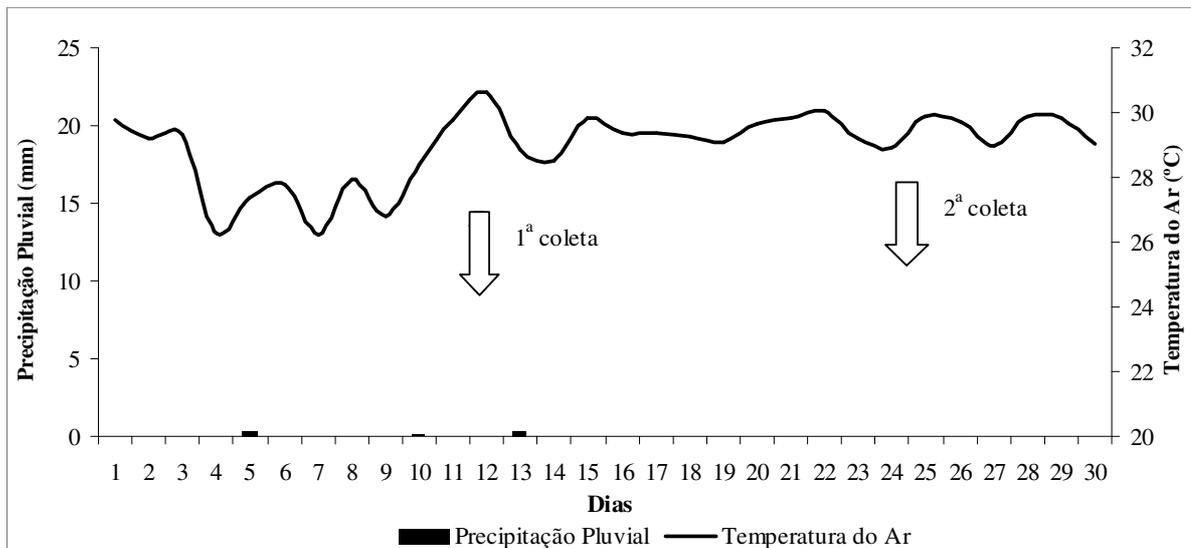


Figura 6 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Novembro de 2008.

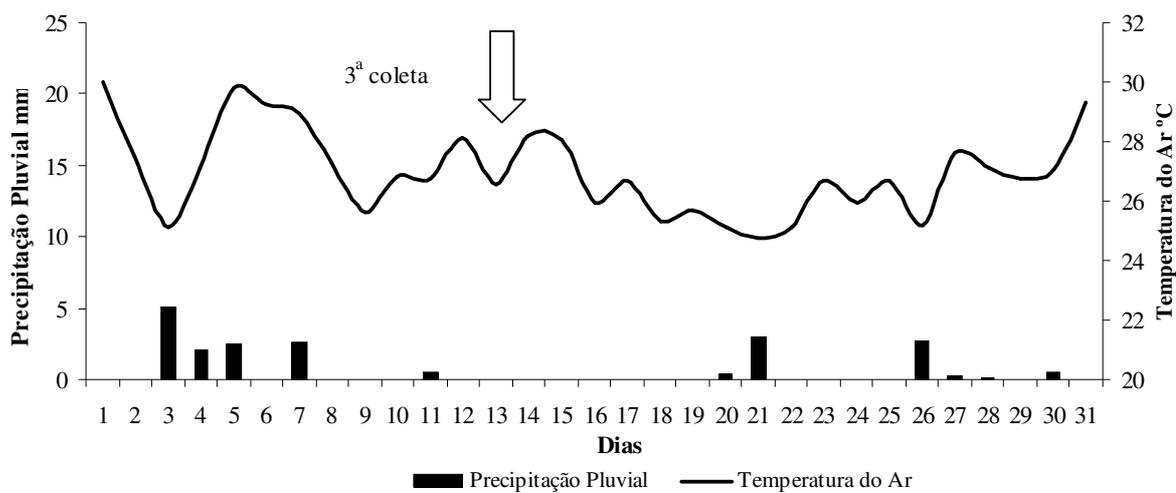


Figura 7 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Dezembro de 2008.

c) Coletas realizadas final do Ano 2009

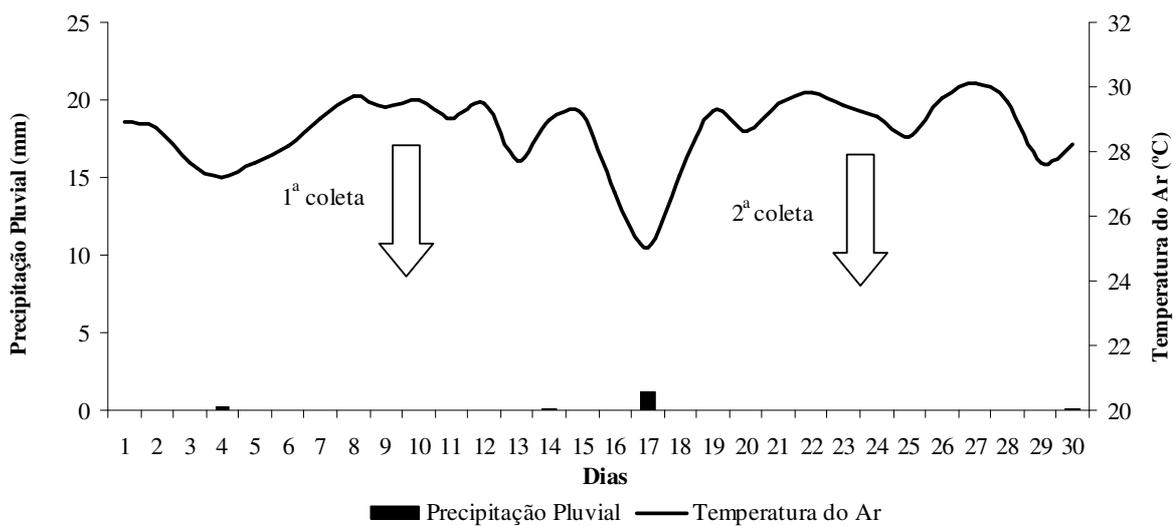


Figura 8 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Novembro de 2009.

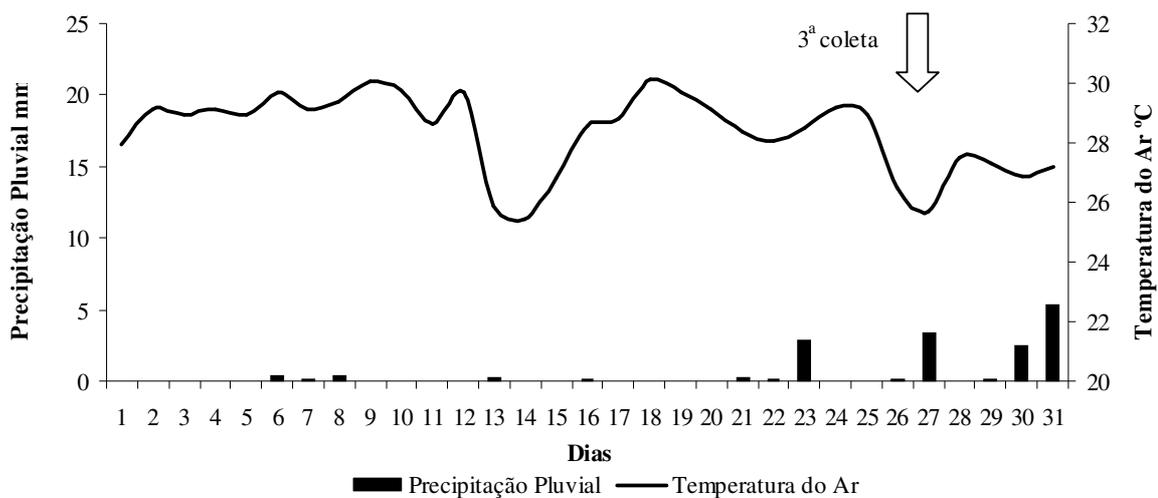


Figura 9 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em São Luís-MA em Dezembro de 2009.

3.2.13. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa SAEG 8,0 adotando-se o delineamento estatístico em blocos casualizados com parcelas sub-subdivididas, tendo como fatores o manejo, as épocas de coleta, e as variedades de arroz. Para analisar o “flush” de nitrato no solo os fatores foram: o manejo, as épocas de coleta e as profundidades de amostragem do solo. Foram avaliados os efeitos isolados de cada fator e de sua interação determinando-se a significância destes efeitos através do teste F. No caso da significância das interações efetuou-se o desdobramento sendo as médias comparadas pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. Foram feitas ainda análises de Correlação de Pearson utilizando-se o programa SAEG 8,0.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Fitomassa e acúmulo de N das leguminosas no sistema de aléias

De maneira geral as leguminosas apresentaram grande variabilidade na produção de massa fresca e seca da parte aérea e conseqüentemente no aporte de nutrientes e em especial o nitrogênio. As médias de produção de biomassa dos ramos e folhas das leguminosas durante os anos de 2008 e 2009 em que foram cultivadas as variedades de arroz cujos resultados encontram-se descritos a seguir (Tabela 3). Nos dois anos do experimento a acácia (*Acácia mangium*) apresentou médias de fitomassa fresca e seca superior a leucena (*Leucaena leucocephala*) e ao sombreiro (*Clitoria fairchildiana*). No ano de 2008, houve uma maior produção de biomassa, provavelmente, em função do volume de chuvas ocorridas durante esse ano. No segundo ano do experimento (2009), houve uma redução na produção de fitomassa em todas as espécies de leguminosas.

A adição da fitomassa das leguminosas em aléias no primeiro e segundo ano de cultivo não afetou o rendimento dos grãos entre as variedades de arroz, conforme será visto posteriormente. Possivelmente, devido à baixa acumulação de N colocado em superfície, associado ao curto período experimental, não diferindo das parcelas com ausência de deposição dos resíduos (testemunha) embora essas tenham mostrado menor rendimento.

Segundo Costa et al. (1990), geralmente há menor acumulação de N inorgânico do solo com o adubo verde mantido em superfície. Esses autores sugeriram que isto ocorre porque as taxas de liberação do N dos materiais colocados na superfície são menores que as de materiais incorporados. Também apresentam a hipótese que esta acumulação mais lenta do N inorgânico da cobertura superficial é devida às condições de umidade e temperatura menos favoráveis para a decomposição.

A taxa de decomposição do material vegetal é um importante caminho para se determinar o ciclo de nutrientes minerais, indicando a eficiência do sistema. A velocidade de decomposição desses materiais dependerá da composição dos tecidos, da espécie utilizada e de condições ambientais. Tecidos ricos em material estrutural (celulose, hemicelulose e lignina) são mais resistentes à decomposição que tecidos mais pobres nesses materiais (Haag, 1985). A decomposição de resíduos com concentração de N inferiores a 2% (20 g.kg^{-1}) ou com uma relação C/N maior que 25 conduz inicialmente para uma imobilização de N mineral, enquanto materiais com concentração de N superiores a 2% ou com uma relação C/N menor que 25, libera o N mineral. De fato é conhecido que a concentração de N e relação C/N são os principais fatores que determinam a habilidade dos resíduos das plantas para fornecer N. Todavia há outros fatores que podem alterar esse fornecimento, como por exemplo, concentração de lignina ou relação lignina/N (Myers et al., 1994).

As espécies *Acácia mangium* e *Clitoria fairchildiana* produziram maior quantidade de resíduos que a *Leucaena leucocephala* (Tabela 3). Estas diferenças na produtividade das espécies ocasionaram grande variação entre os tratamentos em relação à quantidade de resíduo aplicada e a quantidade de N disponibilizado. No sistema em aléias, a maior ou menor decomposição dos resíduos das leguminosas é decorrente da relação C/N da biomassa microbiana. Esta velocidade na decomposição torna-se importante principalmente em áreas onde o solo é pobre em nutrientes, como no caso da área experimental, assim a rápida decomposição facilita a maior incorporação e ciclagem de nutrientes nesse sistema de manejo. De acordo com Caíres (2000) o processo de mineralização e nitrificação é favorável quando os resíduos do solo possuem uma relação C/N ao redor de 15/1 a 20/1, esta relação está presente principalmente nas leguminosas.

A biomassa oriunda das parcelas de acácia+leucena, foi a que acumulou maiores médias de matéria fresca e seca (Tabela 3) e mais nitrogênio na biomassa da parte aérea (Tabela 4) e consequentemente menor relação C/N. Portanto, essa maior contribuição de N deve-se ao maior aporte de biomassa seca das duas espécies de leguminosas.

Tabela 3. Produção de massa fresca e seca ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) dos ramos e folhas das leguminosas arbóreas utilizadas no sistema de cultivo em aléias nos dois anos consecutivos do experimento, no município de São Luis – MA.

Leguminosas	2008		2009	
	1º corte	2º corte	1º corte	2º corte
$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$				
Massa Fresca				
<i>Acacia mangium</i>	61.835	-	38.335	-
<i>Clitoria fairchildiana</i>	20.590	-	11.527,5	-
<i>Leucaena leucocephala</i>	16.270	7.182,5	12.327,5	4.187,5
Massa Seca				
<i>Acácia mangium</i>	28.067,5	-	17.017,5	-
<i>Clitoria fairchildiana</i>	9.850	-	5.542,5	-
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.590	-	5.120	-

Tabela 4. Teor de Nitrogênio total, carbono e relação C/N dos ramos e folhas das leguminosas arbóreas utilizadas no sistema de cultivo em aléias em dois anos consecutivos, no município de São Luis-MA.

Leguminosas	2008			2009		
	N-total	C	Relação C:N	N-total	C	Relação C:N
	$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			$\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$		
<i>Acácia m. + Leucaena l.</i>	25,71	487,44	18,9	23,91	458,87	19,1
<i>Clitoria f. + Leucaena l.</i>	14,82	455,10	30,7	14,14	459,75	32,5

Com relação às reservas de N da matéria orgânica a partir da decomposição e incorporação da biomassa proveniente das leguminosas em aléias, é provável que tenha ocorrido uma sincronização entre a mineralização e absorção de N pelas plantas ainda que tenha se observado ausência de resposta entre as variedades. Levando-se em consideração que todo o material vegetal foi depositado em superfície, sendo de fácil decomposição no sistema e o solo ser bastante arenoso, poderia haver perdas de N por lixiviação ou por outros processos caso o sistema não tivesse imobilizando nitrogênio. Doses suplementares de fertilizantes foram aplicadas em todas as parcelas no plantio, visando à manutenção dos nutrientes no solo inclusive na testemunha que se mostrou inferior aos tratamentos com aléias.

3.5.2. Produção de massa fresca e seca da parte aérea (folhas, bainhas e planta inteira) das variedades de arroz

De maneira geral, houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre sistemas de manejo, variedades e as diferentes épocas de amostragem para produção de massa fresca e seca das folhas e bainhas das plantas de arroz nos dois anos de cultivo (Tabelas 5 a 8). As produções variáveis de massa fresca e seca nesses tecidos da planta mostraram que houve variações na maturação e desenvolvimento das mesmas. Os tratamentos com aléias, provenientes da

combinação das leguminosas (Acácia+Leucena e Sombreiro+Leucena), foram sempre superiores à testemunha, que apresentou as menores produções.

Nas coletas por ocasião da antese, observou-se menor efeito do sistema de manejo sobre as variedades e as produções de massa fresca e seca nas folhas e bainhas foram menores, nos períodos de enchimento e maturação dos grãos a produção aumentou. Essa tendência ocorreu nos dois anos do experimento com todas as variedades (Tabelas 5 a 8). Com relação à produção de massa fresca e seca da parte aérea da planta inteira não foram observadas diferenças entre as variedades locais e melhoradas de arroz nos sistemas de manejo com e sem aléias (Figuras 10 e 11), sugerindo que as mesmas não foram afetadas pela adição de ramos das leguminosas, coincidindo com Ferraz Jr. (2000). No sistema de manejo com aléias, e nos dois anos do experimento (2008 e 2009) as maiores produções de massa fresca e seca para a planta inteira foram observadas nas parcelas com a combinação de Acácia+Leucena (Figuras 10 e 11), provavelmente devido essas leguminosas quando combinadas apresentarem maiores teores de N nas folhas em relação à combinação de sombreiro+leucena (Ferraz Jr, 2000).

As variedades seguiram o mesmo padrão de comportamento para à produção de massa seca da parte aérea. Durante o período de enchimento de grãos, a matéria seca continuou sendo acumulada nas variedades com redução ao final do ciclo de desenvolvimento das plantas (Figura 10). Segundo Fernandes e Rossiello (1986), a redução no acúmulo de biomassa está relacionada, entre outros fatores, ao maior custo energético para a absorção do nitrato.

Nos dois anos do experimento nas variedades locais e melhoradas, a taxa de acúmulo de matéria seca foi estável com menores e moderados acúmulos durante o ciclo, com queda no final. Porém, nas variedades IAC-47 e Piauí, o acúmulo de matéria seca foi maior em relação às variedades Três Meses e Bonança, diminuindo com na maturidade fisiológica.

No ano de 2008, a variedade local de arroz (Três Meses) apresentou maior acúmulo na produção de massa seca da parte aérea quando comparada à variedade melhorada (Bonança) em todos os tratamentos, com e sem aléias. Segundo Ferraz Jr. (2000), parte dessa diferença pode ser explicada pelos diferentes ciclos (em dias) entre as variedades, sendo a variedade local mais tardia que a melhorada, fato que favorece ao acúmulo de biomassa da parte aérea. Segundo Fageria & Stone (2003) cultivares de ciclo longo obtem mais N do solo e, em função disso, requerem menores quantidades de adubação nitrogenada, enquanto que os cultivares de ciclo precoce absorvem mais N do fertilizante, respondendo mais à adubação nitrogenada. No entanto, a variedade local utilizada no primeiro ano era de ciclo mais curto que o tradicional, assim nas condições em que a pesquisa foi desenvolvida esse maior acúmulo de massa seca pode também ser atribuído às características peculiares da variedade local ou apenas a um comportamento errático da variedade (Figura 10).

No ano de 2009, os resultados obtidos com relação às variedades para a produção de biomassa da parte aérea não refletiram o comportamento esperado, nas parcelas com aléias a variedade melhorada IAC-47 apresentou maior acúmulo de massa seca quando comparada a Piauí, enquanto que na testemunha, sem aléias, as maiores produções foram observadas para a variedade tradicional Piauí (Figura 11).

No geral, as variedades locais, Três Meses e Piauí, destacaram-se pelo elevado crescimento da parte aérea e por apresentarem os menores valores de massa seca em relação às variedades melhoradas. Esses resultados sugerem que as variedades locais devem ser mais eficientes na absorção de N por unidade de massa da parte aérea, em condições de disponibilidade limitada de N. Observou-se ainda que os tratamentos sem aléias, constituídos exclusivamente por adubação mineral, as variedades tiveram menor acúmulo de massa fresca e seca. Vale ressaltar que em campo as variedades desse tratamento mostraram menor número de folhas, e as folhas formadas ficaram menores. Esses resultados, tomados em conjunto, explicam os menores valores de massa seca da parte aérea obtidos por esses tratamentos.

Tabela 5. Valores médios de massa fresca e seca das folhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em sistema de aléias no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acácia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
g/planta												
Peso de Massa Fresca												
Três Meses*	7,61	27,65	33,07	22,78 A	6,56	18,83	30,66	23,65 A	5,21	14,62	19,16	12,99 A
Bonança**	4,39	22,06	30,19	18,82 B	8,33	23,37	28,63	20,11 B	4,25	13,76	15,98	12,75 A
Média	6,00 c	24,85 b	31,63 a		7,45 c	21,10 b	29,65 a		4,73 c	13,44 b	17,57 a	
Média		20,83 a				19,40 b				8,58 c		
Peso de Massa Seca												
Três Meses	1,92	13,93	17,02	10,96 A	1,95	12,96	18,80	11,24 B	1,30	12,90	10,45	8,22 A
Bonança	0,88	13,23	18,57	10,89 A	2,33	16,67	20,79	13,26 A	1,23	12,57	8,18	7,33 A
Média	1,40 c	13,58 b	17,79 a		2,14 c	14,82 b	19,79 a		1,26 c	12,74 a	9,32 b	
Média		10,92 b				12,25 a				7,77 c		

Médias na mesma linha, para variedades e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para manejo, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local **Variedade melhorada.

Tabela 6. Valores médios de massa fresca e seca das bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em sistema de aléias no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo												Média
	Sombreiro +Leucena				Acácia + Leucena				Testemunha				
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão		
g/planta													
Peso de Massa Fresca													
Três Meses*	18,43	35,92	35,11	29,82 ns	14,90	36,71	38,84	30,15 ns	6,24	16,33	22,39	14,99 ns	
Bonança**	17,58	37,52	37,82	30,97 ns	18,30	31,80	36,05	28,72 ns	7,39	16,67	17,28	13,78 ns	
Média	18,01 b	36,72 a	36,46 a		16,60 c	34,26 b	37,45 a		6,82 c	16,50 b	19,84 a		
Média		30,40 a				29,44 b				22,84 c			
Peso de Massa Seca													
Três Meses	4,54		15,88	28,84	16,42 ns	6,09	15,09	27,47	16,22 ns	1,04	13,05	13,43	10,51 ns
Bonança	3,36		14,70	23,35	13,80 ns	4,38	13,39	27,25	15,01 ns	1,24	13,25	12,16	8,88 ns
Média	3,95 c		15,29 b	26,09 a		5,24 c	14,24 b	27,36 a		1,14 b	13,15 a		12,80 a
Média		15,11 a				15,61 a				9,03 b			

Médias na mesma linha, para variedades e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para manejo, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

* Variedade local ** Variedade melhorada.

Tabela 7. Valores médios de massa fresca e seca das folhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em sistema de aléias no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo											Média
	Sombreiro + Leucena				Acácia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	
g/planta												
Peso de Massa Fresca												
Piauí*	15,85	33,62	37,47	28,98 A	15,51	27,53	38,07	27,04 B	2,72	10,47	17,59	10,26 A
IAC-47**	14,31	26,70	41,83	27,61 A	15,92	34,21	50,91	33,68 A	3,18	7,26	16,04	8,83 A
Média	15,08 c	30,16 b	39,65 a		15,72 c	30,67 b	44,49 a		2,96 c	8,86 b	16,82 a	
Média	28,30 b				30,36 a				9,55 c			
Peso de Massa Seca												
Piauí	7,64	24,07	26,58	19,43 A	4,44	26,23	27,15	19,27 B	1,10	4,67	10,29	5,35 A
IAC-47	5,53	8,63	28,68	14,28 B	7,75	27,42	37,43	24,20 A	0,87	4,72	6,27	3,95 A
Média	6,59 c	16,35 b	27,63 a		6,09 c	25,21 b	32,29 a		0,98 c	4,69 b	8,28 a	
Média	16,86 b				21,20 a				4,65 c			

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedade, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local **Variedade melhorada.

Tabela 8 - Valores médios de massa fresca e seca das bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em sistema de aléias no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acácia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
g/planta												
Peso de Massa Fresca												
Piauí*	13,74	54,06	65,80	44,53 B	22,45	58,67	143,73	74,95 B	5,06	22,27	33,48	20,27 A
IAC-47**	16,03	71,34	65,49	50,95 A	27,34	73,48	153,43	84,75 A	7,61	15,06	27,07	16,58 B
Média	14,88 b	62,70 a	65,64 a		24,89 c	66,07 b	148,58 a		6,34 c	18,67 b	30,27 a	
Média	47,74 b				79,85 a				18,43 c			
Peso de Massa Seca												
Piauí	9,25	37,01	42,60	29,62 ns	4,35	41,75	79,19	41,76 ns	1,19	12,52	17,71	10,47 ns
Bonança	8,41	44,79	43,27	32,16 ns	14,32	49,49	76,83	46,88 ns	3,22	6,91	17,36	9,16 ns
Média	8,83 b	40,90 a	42,94 a		9,34 c	45,62 b	78,01 a		2,21 c	9,72 b	17,54 a	
Média	30,89 b				44,32 a				9,82 c			

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedade, seguidas por letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local. **Variedade melhorada.

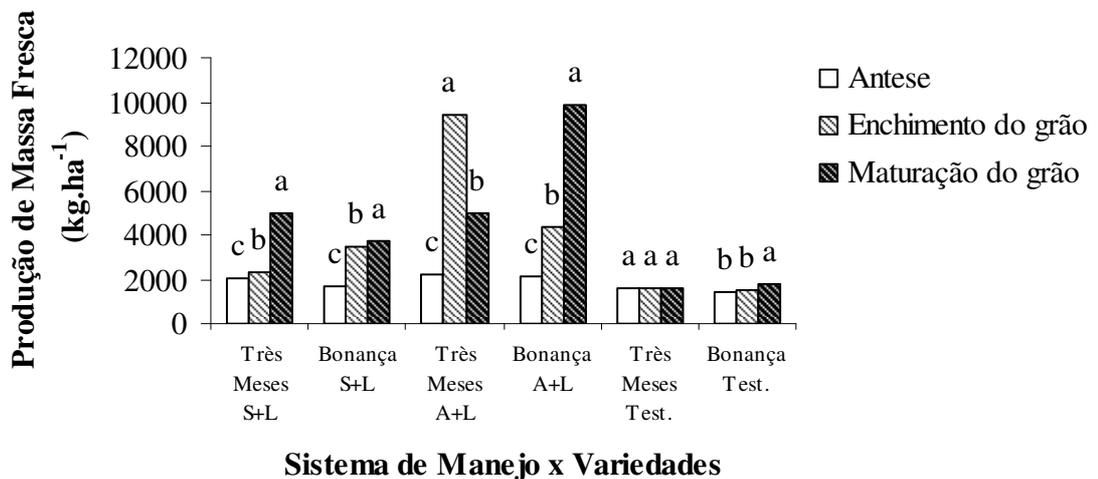
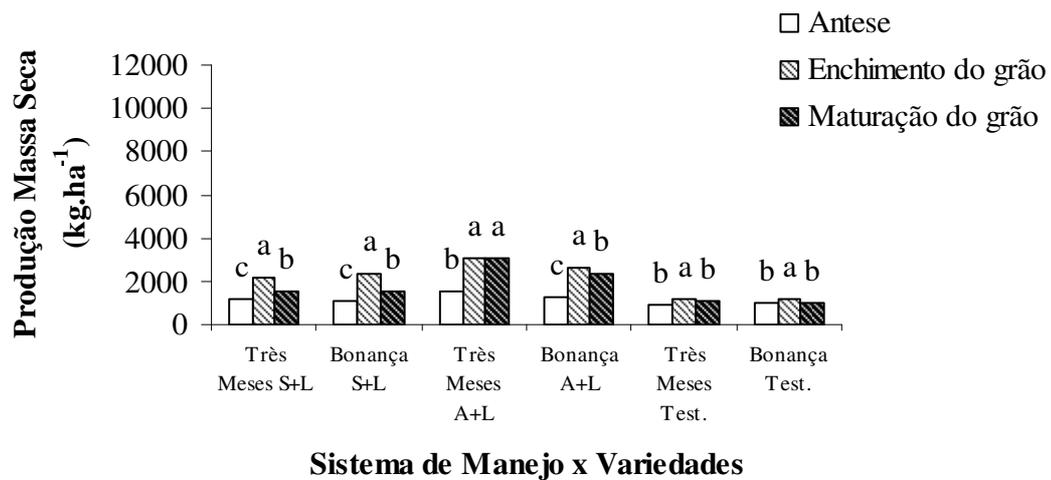


Figura 10 - Produtividade média de massa fresca e seca (kg.ha^{-1}) de duas variedades de arroz, Três Meses (variedade local) e Bonança (variedade melhorada) cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; e A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis – MA, no ano de 2008. Letras iguais para a mesma época não diferem estatisticamente entre si pelo teste DMS a 5% de probabilidade.

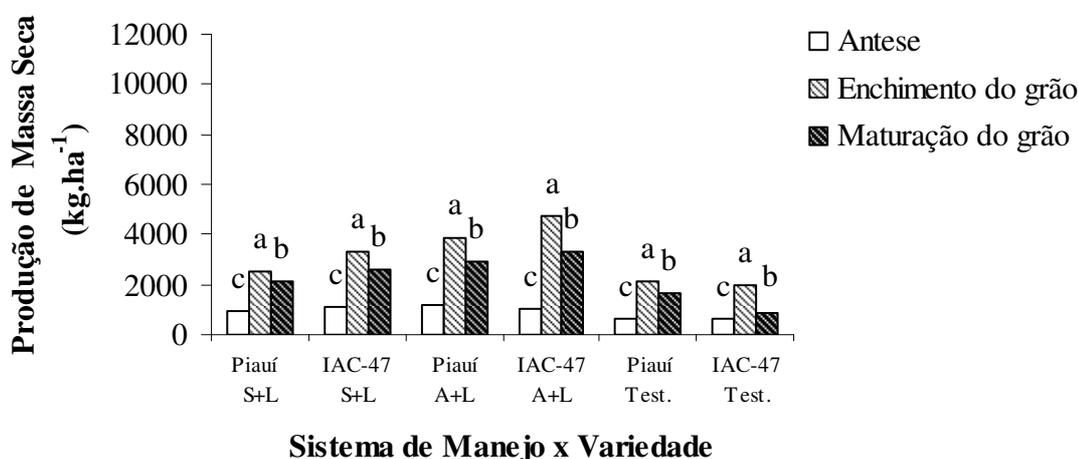
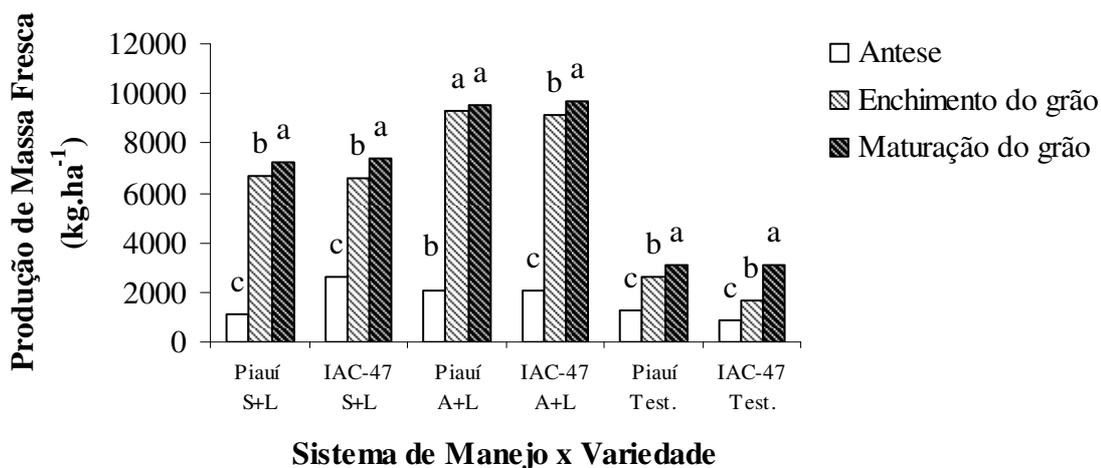


Figura 11 - Produtividade média de massa fresca e seca (kg.ha⁻¹) de duas variedades de arroz Piauí (variedade local) e IAC-47 (variedade melhorada) cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; e A+L = Acácia + Lucena) no município de São Luis - MA, no ano de 2009. Letras iguais para a mesma época não diferem estatisticamente entre si pelo teste DMS a 5% de probabilidade.

3.5.3. Atividade da nitrato redutase

Com base nos resultados a atividade da nitrato redutase *in vivo* variou significativamente ($p < 0,05$) entre o sistema de manejo, variedades de arroz e as diferentes épocas de amostragem nos dois anos de cultivo (Tabelas 9 e 10). Os valores obtidos para a atividade da enzima no geral foram baixos e relacionaram-se com a disponibilidade de nitrato disponível no citossol das plantas cultivadas, nos sistemas de cultivo com e sem aléias nas diferentes épocas de amostragem ao longo do ciclo de desenvolvimento das variedades de arroz.

A atividade da nitrato redutase (ANR) apresenta importância estratégica no metabolismo de N em plantas, pois constitui um etapa chave na via de assimilação (Sodeck, 2004). A nitrato redutase é a primeira enzima envolvida na assimilação de NO_3^- , sendo fortemente regulada por seu substrato, de modo que com o aumento do fornecimento de NO_3^- , a ANR aumenta em resposta ao NO_3^- disponível.

Pode-se considerar que nas condições em que o experimento foi desenvolvido grande parte do N liberado dos resíduos das leguminosas contribuiu para a nutrição das variedades de

arroz, uma vez que a adição dos ramos das leguminosas foi a principal fonte de nutrientes para a cultura, embora todas as parcelas tenham recebido adubação mineral por ocasião do plantio, mas a diferença em relação a testemunha evidencia esse efeito. No entanto, os baixos valores encontrados para atividade da nitrato redutase indicam baixa concentração desse nutriente no solo, a nitrificação pode ter sido influenciada pelos valores de pH do solo, associado às taxas de mineralização da matéria orgânica e consequentemente na liberação de nutrientes, especialmente o N, o que foi evidenciado pelos baixos teores de N-NO_3^- encontrados nas folhas e bainhas conforme será mostrado posteriormente, principalmente no segundo ano do experimento.

Nos dois anos do experimento (2008 e 2009) não foram observadas diferenças significativas entre as variedades de arroz para a atividade da nitrato redutase nas folhas, as maiores variações ocorreram para as bainhas, entre as diferentes épocas de amostragem e os sistemas de manejo (Tabelas 9 e 10).

Em relação ao sistema de manejo, as variedades de arroz cultivadas nas parcelas com leguminosas em aléias apresentaram maior atividade da enzima quando comparada à testemunha, sem aléias, sendo a atividade mais expressiva nos tratamentos resultante da combinação de Acácia+leucena, sugerindo um potencial de indução dessa enzima pelo substrato resultante da combinação dessas leguminosas (Figura 12 e 13), já que se trata de uma enzima induzida e ativada pelo substrato (Campbell, 1999).

A atividade da enzima foi avaliada nas folhas e bainhas das plantas de arroz e a maior atividade foi observada nas folhas (Figuras 14 e 15). Esses resultados corroboram os de Santos (2006) indicando que no arroz a folha é o principal sítio ativo para redução assimilatória de nitrato, possivelmente pela maior disponibilidade de nitrato translocado para esse tecido. No entanto, o aumento da atividade da nitrato redutase nas folhas entre as variedades locais e melhoradas ocorreu de forma diferenciada em todos os tratamentos com e sem aléias. As folhas das plantas das variedades melhoradas (Bonança e IAC-47) apresentaram maior ANR que as folhas das plantas das variedades locais (Três Meses e Piauí).

Esses resultados indicam que nas variedades avaliadas a maior redução do N-NO_3^- ocorreu nas folhas onde a atividade da nitrato redutase foi mais elevada (Figuras 14 e 15) e que nas variedades Bonança e IAC-47 (melhoradas) houve maior redução do N-NO_3^- absorvido. Essa relação inversa entre a ANR e a capacidade de armazenamento de NO_3^- observada nas variedades de arroz locais e melhoradas apontam para perfil de maior eficiência de uso de N pelas variedades locais. Segundo Gallais & Hirel (2004), alta atividade na nitrato redutase e eficiência na redução de N indicam genótipos menos eficientes no uso de N.

Os resultados também mostraram que tanto no ano de 2008 quanto em 2009 houve uma relação entre a atividade da nitrato redutase e teor de nitrato na folha. Os maiores teores de nitrato foram encontrados nas folhas em relação às bainhas para as quatro variedades, sendo que no primeiro ano os conteúdos foram maiores.

Santos (2006), estudando a absorção e remobilização de N em arroz em duas concentrações de N-NO_3^- em solução nutritiva com as variedades Piauí e IAC-47, obtiveram maior ANR nas raízes da variedade Piauí bem como maiores acúmulos de N-NO_3^- nesse tecido quando comparada a IAC-47, e atribui que este comportamento da variedade Piauí pode ser uma estratégia de economia de energia, pois além de não enviar nitrato para a redução na parte aérea da planta acumula-o nas raízes. Esta aparente eficiência energética dessa variedade quando submetida à baixa luminosidade pode ser meramente uma resposta adaptativa, onde a arquitetura da planta, bem como a condição ambiental em que a mesma foi desenvolvida, não proporciona alta taxa fotossintética. Segundo esse autor, a condição de dias nublados na época das chuvas e seca, na outra metade do ano, associada à arquitetura das folhas da variedade Piauí (folhas superiores sombreando as inferiores) são características que

levam essa variedade a apresentar uma menor taxa fotossintética quando comparada a variedade IAC-47. Desta forma, pode-se sugerir que durante o período em que as plantas de arroz foram cultivadas a baixa radiação solar favoreceu a diminuição na fotossíntese, reduzindo, por sua vez, a assimilação do NO_3^- e aumentando a acumulação nos vacúolos.

Segundo Sodek (2004) é importante frisar que no caso da folha, não é o teor de nitrato aí presente que é importante na indução da enzima, mas a quantidade trazida pelo fluxo transpiratório. A redução do nitrato e a assimilação do amônio dependem de energia química do metabolismo de fotoassimilados fornecidos pelas folhas consumindo energia fotoquímica utilizada na fixação do carbono, nos cloroplastos sob alta intensidade luminosa os elétrons utilizados na redução do nitrito podem ser fornecidos diretamente pelas reações fotoquímicas, sem que haja competição com a fixação do gás carbônico.

Segundo Heilmeier & Monson (1994), quando uma ampla quantidade de N está disponível uma grande porção pode ser estocada na forma de proteínas, aminoácidos e como NO_3^- por períodos curtos ou longos até a saturação da capacidade de armazenamento (determinada geneticamente).

De acordo com Dose et al. (1997), a maioria das espécies reduz o nitrato a nitrito pela ação da nitrato redutase, nas folhas. Essa enzima requer compostos redutores, com o NAD(P)H, proveniente da fotossíntese. Dessa forma, a ação da nitrato redutase nas folhas é favorecida, já que em raízes e outros órgãos subterrâneos há necessidade de translocação e oxidação de carboidratos para a atividade dessa enzima (Aidar et al., 2003).

Nas bainhas a atividade da nitrato redutase foi acentuadamente mais baixa quando comparada a folha visto que quantidades significativas de nitrato são remobilizadas desses tecidos e isso não está relacionado com uma maior ANR, confirmando a hipótese de ser a bainha o local de armazenamento de nitrato (Figura 14 e 15).

Esses resultados coincidem com Santos (2006) que afirma que a bainha é o compartimento preferencial das plantas de arroz para o armazenamento de nitrato. Segundo esse autor, uma vez admitindo que as bainhas sejam os locais preferenciais de armazenagem de nitrato poderíamos também supor que há um fluxo de nitrato para esse tecido. Entretanto como a atividade da nitrato redutase não é proporcional a esse fluxo, isto também nos permite especular que pode haver uma menor expressão dessa enzima neste tecido ou mesmo que o volume ocupado pela enzima no citossol seja extremamente reduzido.

Segundo Fernandes & Rossiello, (1995) as plantas podem absorver e acumular grandes quantidades de nitrato nos seus tecidos sem assimilá-lo, e conseqüentemente, não sendo incorporado na forma de aminoácidos e proteínas.

Tabela 9 - Atividade da nitrato redutase nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de manejo com e sem aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acacia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
$\mu\text{moles NO}_2^- \cdot \text{g}^{-1}$ de massa fresca.h ⁻¹												
Folha												
Três Meses*	0,233	0,601	0,162	0,332	0,264	0,690	0,283	0,412	0,233	0,541	0,197	0,324
Bonança**	0,421	0,654	0,244	0,440	0,269	0,811	0,276	0,452	0,212	0,618	0,261	0,364
Média	0,327 b	0,630 a	0,230 c		0,267 b	0,751 a	0,280 b		0,223 b	0,580 a	0,229 b	
Média		0,387 b				0,433 a				0,344 c		
CV (%) 15,440												
Bainha												
Três Meses	0,090	0,649	0,225	0,321 Aa	0,160	0,607	0,235	0,334 Ba	0,258	0,275	0,172	0,235 Bb
Bonança	0,162	0,539	0,213	0,305 Ab	0,241	0,675	0,148	0,355 Aa	0,266	0,467	0,161	0,298 Ab
Média	0,126 c	0,594 a	0,219b		0,201 b	0,641 a	0,192 b		0,262 b	0,371 a	0,167 c	
Média		0,313 b				0,345 a				0,267 c		
CV (%) 10,456												

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letra maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada.

Tabela 10 - Atividade da nitrato redutase nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de manejo com e sem aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acácia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
$\mu\text{moles NO}_2^- \cdot \text{g}^{-1}$ de massa fresca.h ⁻¹												
Folha												
Piauí*	0,274	0,380	0,182	0,279	0,287	0,438	0,217	0,314	0,183	0,307	0,154	0,215
IAC-47**	0,259	0,407	0,197	0,289	0,268	0,523	0,239	0,343	0,191	0,299	0,162	0,217
Média	0,267 b	0,394 a	0,190 c		0,278 b	0,481 a	0,228 b		0,187 b	0,303 a	0,158 b	
Média		0,284 b				0,329 a				0,216 c		
CV (%) 15,782												
Bainha												
Piauí	0,191	0,221	0,150	0,187	0,153	0,250	0,175	0,193	0,077	0,228	0,132	0,146
IAC-47	0,170	0,248	0,162	0,193	0,171	0,238	0,184	0,198	0,069	0,197	0,161	0,143
Média	0,181 b	0,235 a	0,156 b		0,162 b	0,244 a	0,180 b		0,073 c	0,213 a	0,147b	
Média		0,191 a				0,195 a				0,144 b		
CV (%) 44,293												

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letra maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada

Ano 2008

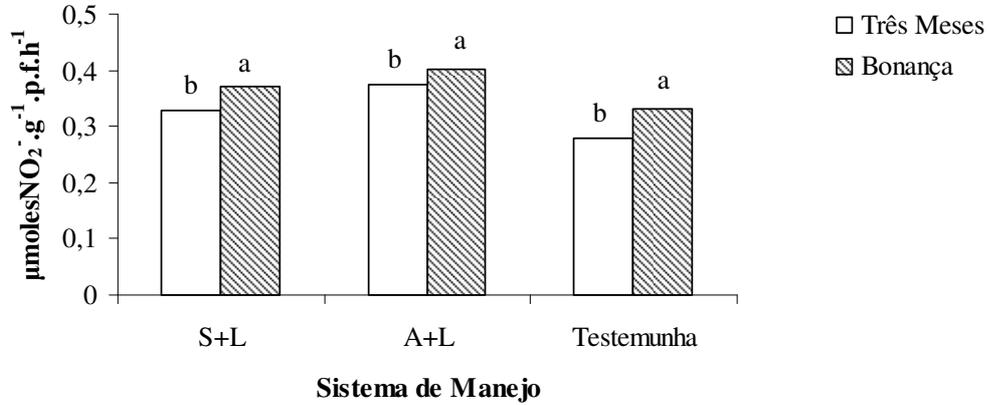


Figura 12 - Atividade da nitrato redutase nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis- MA, no ano de 2008. Letras iguais entre as variedades dentro de cada sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Ano 2009

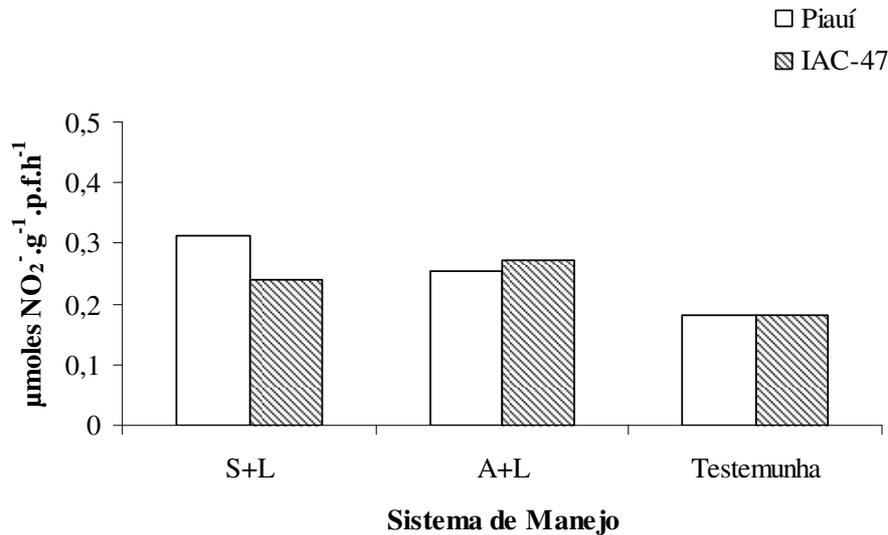


Figura 13 - Atividade da nitrato redutase nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis- MA, no ano de 2009. Letras iguais entre as variedades dentro de cada sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

No geral, a atividade da nitrato redutase variou significativamente entre as épocas de amostragem. No período da antese a atividade da nitrato redutase foi baixa, tanto nas folhas quanto nas bainhas das quatro variedades avaliadas (Figuras 16 e 17), principalmente nas variedades locais. De acordo com Malavolta (1980), plantas de arroz nas duas ou três primeiras semanas do ciclo de vida apresentam uma baixa atividade da enzima nitrato redutase, provendo nas plantas supridas com N-NO_3^- , o aparecimento de deficiência de N, acúmulo de nitrato nos tecidos e pequeno crescimento da cultura. Esse fato, certamente está relacionado à incapacidade da planta reduzir todo o N-NO_3^- absorvido na fase inicial de crescimento, armazenando-o nos vacúolos celulares.

A máxima atividade da enzima ocorreu no período de enchimento dos grãos, independente da variedade e do sistema de manejo (Figuras 16 e 17). Isto provavelmente devido as plantas terem remobilizado NO_3^- do compartimento de reserva no momento de maior demanda desse nutriente, ou seja, à medida que aumentou a demanda metabólica da planta o NO_3^- acumulado na bainha foi reduzido propiciando a remobilização para os grãos, consequentemente aumentando a atividade da nitrato redutase nessa fase do desenvolvimento do ciclo das plantas do arroz. Por ocasião da última coleta, período de maturação dos grãos, houve uma redução na atividade da enzima. Essa queda na atividade da enzima já era esperada, pois nessa fase do ciclo da cultura a assimilação reduz o teor de nitrato do citoplasma (Siddigi et al., 1989) e o nitrato também é retirado do citoplasma para o vacúolo, rapidamente, através de um canal iônico presente no tonoplasto (Siddigi et al., 1989). Segundo Souza (1995), para que a atividade da NR fosse mantida em patamares elevados, seria necessário um fluxo constante de nitrato citoplasmático (Fernandes et al., 1978). Entretanto, isto poderia ocasionar um esgotamento energético da planta, devido ao maior requerimento de redutores para a atividade continuada da enzima nitrato redutase.

Foi observada correlação significativa entre a atividade da nitrato redutase, os teores de N-NO_3^- , N-NH_4^+ , N-amino e açúcar solúvel nas folhas e bainhas das variedades de arroz durante os dois anos do experimento (Tabela 11). No ano de 2008, as variedades apresentaram uma baixa e positiva correlação entre a atividade da nitrato redutase e os teores de N-NO_3^- encontrados nas folhas ($r = 0,46$) enquanto nas bainhas as correlações foram mais elevadas ($r = 0,81$ e $r = 0,79$ respectivamente para folha e bainha). Elevadas correlações positivas foram observadas para o N-NH_4^+ ($r = 0,87$ e $r = 0,88$ para folha e $r = 0,91$ e $r = 0,86$ para bainha respectivamente). Em 2009 houve correlação positiva, porém muito mais baixas que o ano anterior tanto para as folhas ($r = 0,36$ e $r = 0,19$ respectivamente para folha e bainha) como para as bainhas ($r = 0,54$ e $r = 0,20$ respectivamente para folha e bainha). As correlações entre a atividade da nitrato redutase e os teores de N-amino nas folhas e bainhas foram mais elevadas que as encontradas para o N-NO_3^- sugerindo que nas condições em que a pesquisa foi desenvolvida, com disponibilidade limitada de N, o teor de nitrato disponibilizado pela nitrificação foi baixo e quando absorvido pelas plantas favoreceu uma baixa relação de aquisição e uso de nitrato pelas variedades.

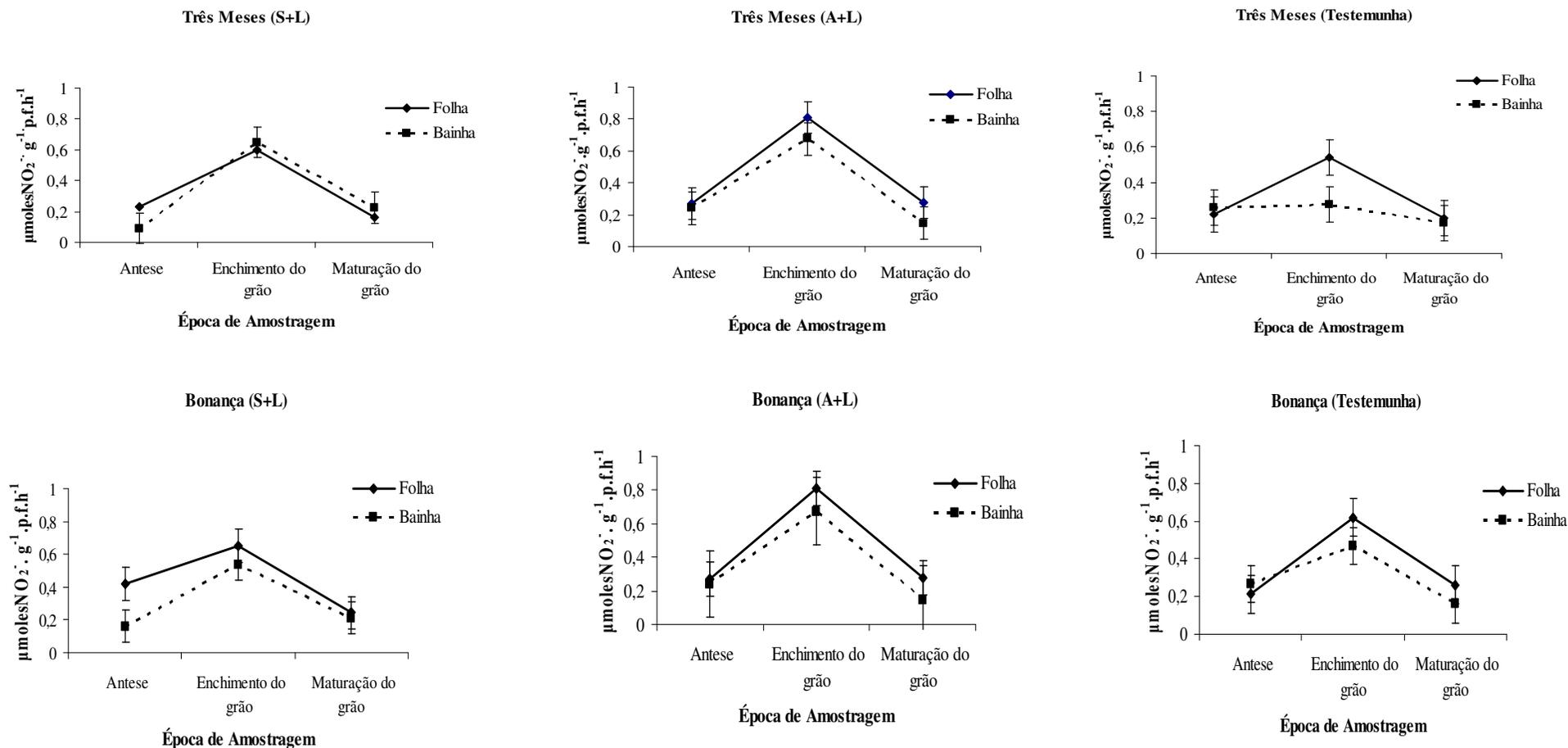


Figura 14 - Atividade da nitrato redutase nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Três Meses e Bonaça cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no município de São Luis - MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2008.

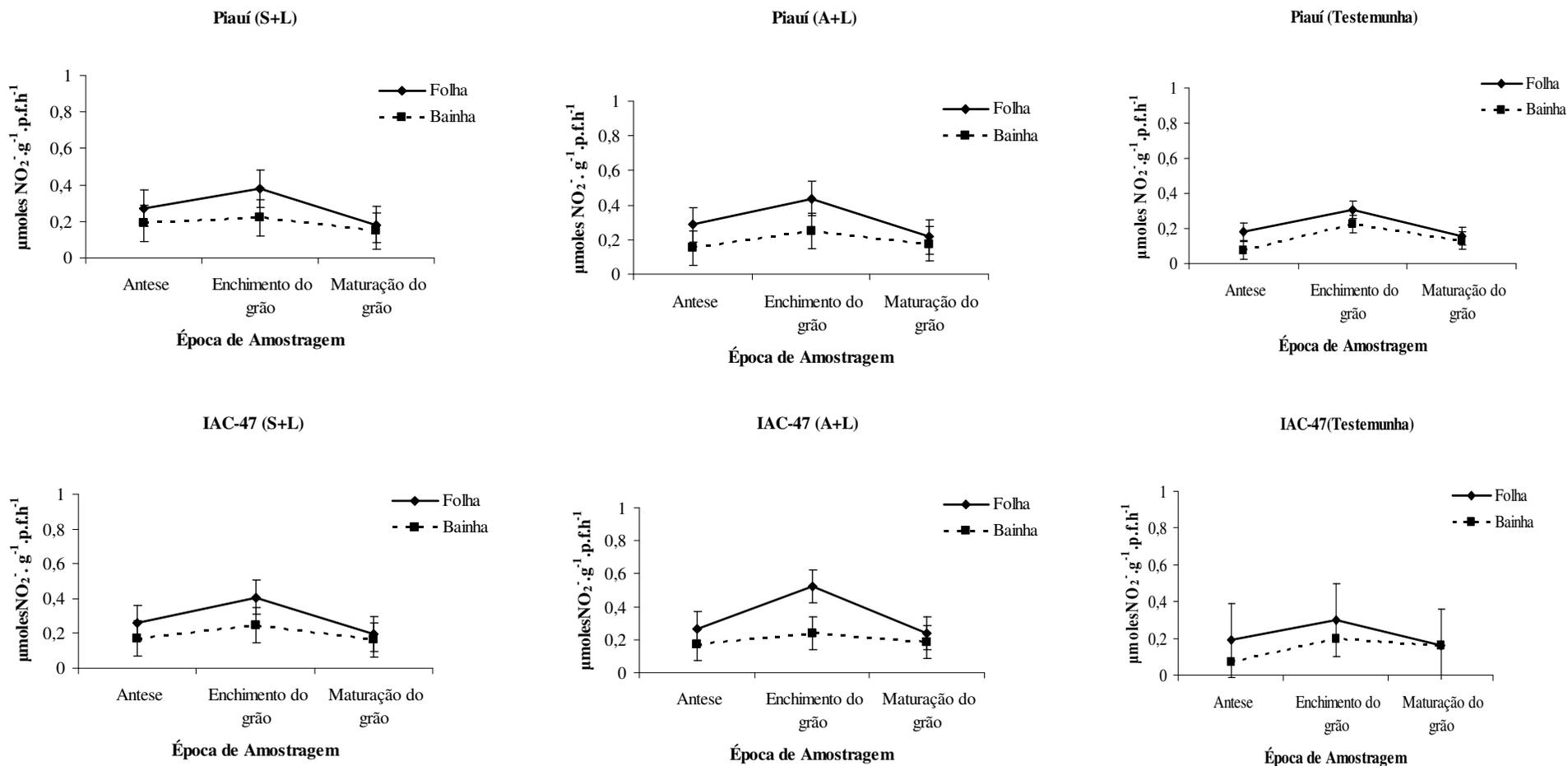


Figura 15 - Atividade da nitrato redutase nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis - MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2009.

Ano 2008

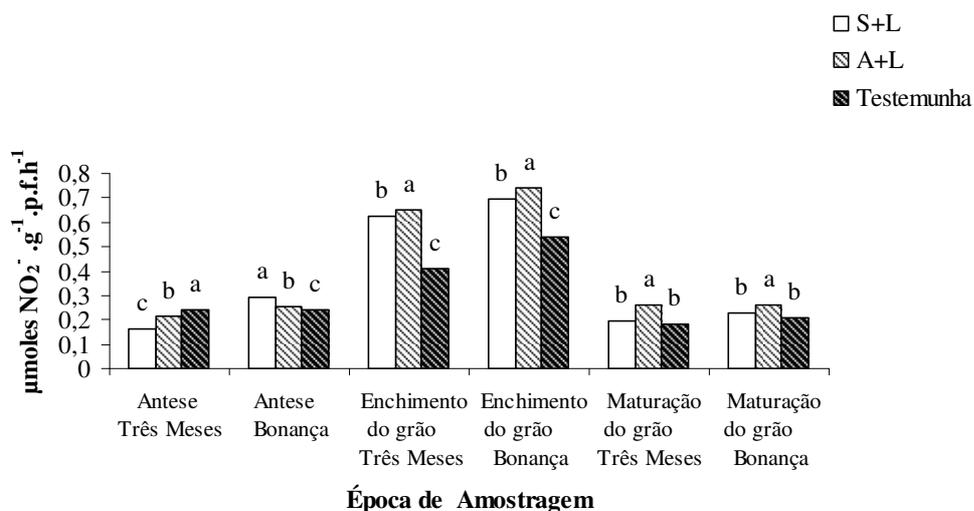


Figura 16 - Atividade da nitrato redutase nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia+Leucena) nas coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grão) no município de São Luis- MA, no ano de 2008. Letras iguais para o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Ano 2009

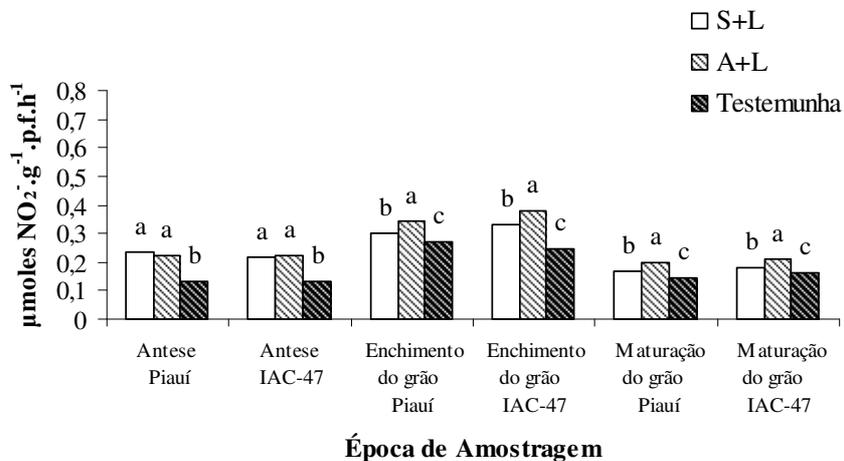


Figura 17 - Atividade da nitrato redutase nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia+Leucena) nas coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no município de São Luis- MA, no ano de 2009. Letras iguais para o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Tabela 11 – Valores das correlações de Pearson entre a atividade da nitrato redutase e o teor de nitrato, amônio, N-amino e açúcar solúvel nas folhas e bainhas de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009.

Interações com ANR	2008	2009
	r	r
ANR folha x NO ₃ ⁻ folha	0,46 *	0,36*
ANR folha x NO ₃ -bainha	0,81*	0,54*
ANR folha x NH ₄ ⁺ folha	0,87*	0,71*
ANR folha x NH ₄ ⁺ bainha	0,88*	0,61*
ANR folha x N-amino folha	0,70*	0,62*
ANR folha x N-amino bainha	0,79*	0,63*
ANR folha x Açúcar solúvel folha	0,62*	0,46*
ANR folha x Açúcar solúvel bainha	0,58*	0,34*
ANR bainha x NO ₃ ⁻ folha	0,46*	0,19 ^{ns}
ANR bainha x NO ₃ ⁻ bainha	0,79*	0,20 ^{ns}
ANR bainha x NH ₄ ⁺ folha	0,91*	0,33 ^{ns}
ANR bainha x NH ₄ ⁺ bainha	0,86*	0,26 ^{ns}
ANR bainha x N-amino folha	0,61*	0,25 ^{ns}
ANR bainha x N-amino bainha	0,78*	0,29*
ANR bainha x Açúcar solúvel folha	0,71*	0,17 ^{ns}
ANR bainha x Açúcar solúvel bainha	0,60*	0,16 ^{ns}

ANR = Atividade da Nitrato Redutase; NO₃⁻ = Nitrato, NH₄⁺ = Amônio

**Correlação significativa (p<0.01); *Correlação significativa (p<0,05); ^{ns} Correlação não significativa.

3.5.4. Metabolismo de N em arroz cultivado em sistema de manejo com e sem aléias

a) Teor de amônio

Os resultados obtidos com relação aos teores de N-NH₄⁺ na parte aérea (folha e bainha) das plantas de arroz no primeiro ano do experimento (2008) mostraram que houve diferenças significativas (p<0,05) entre os sistemas de manejo com e sem aléias, as épocas de amostragem e as duas variedades avaliadas (Tabelas 12 e 13). Os teores obtidos foram baixos, e os maiores acúmulos de N-NH₄⁺ ocorreram na fase de enchimento de grãos tanto nas folhas como nas bainhas indicando que houve uma maior atividade metabólica nessa fase do desenvolvimento das plantas podendo ser atribuída aos processos de redução do N-NH₄⁺ absorvido ou produzido por assimilação do N-NO₃⁻ e/ou ainda originário da fotorespiração.

Entre as variedades foram observadas diferenças significativas (p<0,05) quantos aos teores de N-NH₄⁺ nas folhas para o tratamento resultante da combinação de acácia+leucena e a testemunha. Nas bainhas houve diferença entre as variedades de arroz apenas nos tratamentos com aléias (sombreiro+leucena e acácia+leucena) na testemunha as variedades não diferiram entre si (Tabelas 12 e 13). Observaram-se ainda diferenças significativas entre os sistemas de manejo nas folhas e bainhas.

No ano de 2009, os valores médios dos teores de N-NH₄⁺ foram semelhantes aos encontrados no ano anterior, foram observadas diferenças significativas (p<0,05) apenas entre os sistemas de manejo e as diferentes épocas de amostragem. Entre as variedades IAC-47 e Piauí não houve diferenças significativas (Tabela 13).

Considerando que as plantas de arroz foram cultivadas em solo com baixa concentração de N, esses resultados sugerem que a remobilização do NO₃⁻ do compartimento de reserva não gerou acúmulo de NH₄⁺ e como a ANR foi baixa, pode ter contribuído ainda

mais para os baixos teores de N-NH_4^+ encontrados. Contudo, o amônio apresenta sempre maior absorção que o nitrato numa ampla variedade de condições ambientais (Fernandes, 1978), isto significa que aparentemente, o amônio disponibilizado para absorção pelos resíduos das leguminosas foi rapidamente assimilado em esqueletos de carbono e transportado na forma de aminoácidos (glutamina) para a parte aérea da planta e, em especial, para as folhas, onde atua como matéria prima para a síntese de outros aminoácidos e outras moléculas como proteínas, enzimas e ácidos nucléicos (Souza, 2010). Desta forma as variedades de arroz avaliadas assimilaram rapidamente parte do amônio absorvido, evitando o acúmulo desse íon em concentrações tóxicas na planta. De acordo com Silva (1989), em condições de campo é difícil a ocorrência de N-NH_4^+ livre na planta em quantidades consideradas prejudiciais.

De acordo com Santos et al. (2010), a absorção de NH_4^+ pelas plantas possui maior eficiência energética, já que o N-NH_4^+ tende a ser menos lixiviado no solo e sua absorção demanda menos energia das plantas, pois se encontra prontamente assimilável pelas enzimas do ciclo GS/GOGAT, diferentemente com o que ocorre com o N-NO_3^- . Entretanto, quando absorvido, o amônio tem que ser rapidamente assimilado à esqueletos de carbono na produção de aminoácidos devido a sua toxidez.

Entre as diferentes épocas de amostragem pode-se inferir que houve um efeito bastante significativo quanto aos teores de N-NH_4^+ obtidos nas variedades avaliadas nos dois anos do experimento (2008 e 2009) e no geral seguiram a mesma lógica da ANR. Na fase inicial de desenvolvimento até a antese os teores de N-NH_4^+ foram muito baixos, aos 30 DDA, por ocasião do enchimento do grão, houve uma elevação na concentração desse íon com queda significativa na maturação mantendo valores praticamente constantes (Figura 18).

Analisando-se a interação do sistema de manejo x variedades observou-se que os teores de N-NH_4^+ nas folhas apresentaram-se mais elevados que nas bainhas em todas as variedades (Figura 19). Na bainha, as concentrações de N-NH_4^+ foram mais baixas, porém seguiram o mesmo padrão apresentado nas folhas, atingindo concentrações mais elevadas por ocasião do enchimento do grão. Em média a variedade Bonança (melhorada) apresentou maiores concentrações em relação a variedade Três Meses (local) e a variedade Piauí (local) apresentou teores de N-NH_4^+ ligeiramente mais elevados que a IAC-47, tanto na folha quanto na bainha, porém, as concentrações de N-NH_4^+ não variaram significativamente em função dos tratamentos aplicados (Figura 19). Entre os sistemas de manejo os tratamentos com aléias foram sempre superiores a testemunha (Figuras 20 e 21).

Garrido (2007), avaliando a absorção de NH_4^+ em plantas de arroz da variedade Piauí e IAC-47 observou que em condições de deficiência de nitrogênio, as plantas da variedade Piauí, apresentaram constitutivamente, maiores concentrações de proteínas de membranas ou maior quantidade de membranas. Esta hipótese estaria de acordo com as características de adaptação às condições do trópico úmido, em contraposição à variedade IAC-47, a qual foi selecionada sob elevadas pressões de altas doses de N, como observado por Ferraz Jr. et al. (2001). Ainda segundo Garrido (2007) a variedade Piauí mostrou uma atividade de $\text{V-H}^+\text{ATPases}$ mais elevada que a variedade IAC-47 quando as plantas receberam pulsos de NO_3^- (Rodrigues, 2005). Dessa forma, a alta atividade da $\text{V-H}^+\text{ATPases}$ dificultaria o trânsito do amônio para o tonoplasto, mantendo os níveis citossólicos para pronta assimilação mesmo em baixas concentrações. Já as plantas da variedade IAC-47, melhoradas sob altas doses de N, seriam capazes de quando necessário, segregarem o amônio no tonoplasto.

No presente estudo, como as plantas da variedade Piauí estariam adaptadas às condições de baixa fertilidade, tais plantas parecem lidar melhor com concentrações deficientes de amônio. Já as variedades IAC-47, por ser selecionada sob condições de altas doses de N nas condições em que a pesquisa foi desenvolvida apresentaram menor atividade de suas vias de assimilação apresentando teores mais baixos de N-NH_4^+ .

Esses resultados vão de acordo com os encontrados por Souza (2010), quando avaliando a expressão gênica do transportador de NH_4^+ de alta afinidade OsAMT1.3 nas variedades de arroz Manteiga, Revenda e Bico Ganga (locais) e na variedade melhorada IAC-47, verificou que tanto a variedade Manteiga quanto a variedade Revenda, apresentaram elevada expressão do transportador OsAMT1.3 em relação as demais variedades, o que pode estar relacionado com os menores valores de $\text{C}_{\text{mín}}$ apresentado por estas em relação às demais. Segundo esse autor, isso se deve ao fato do transportador OsAMT1.3 atuar na absorção de N-NH_4^+ em suporte ao OsAMT1.1 quando a concentração de N-NH_4^+ disponível na solução encontra-se muito baixa, dados semelhantes foram encontrados por Sonoda et al. (2003).

Observou-se uma estreita correlação positiva entre a atividade da nitrato redutase e o teor de N-NH_4^+ (Tabela 14). Esse comportamento foi sempre o mesmo para todos os tratamentos e variedades ocorrendo tanto na folha como na bainha. Nos dois anos do experimento tanto para as folhas quanto para as bainhas, os teores de N-NH_4^+ das variedades de arroz correlacionaram-se com os teores de açúcar solúvel, sendo que no ano de 2008 as correlações foram mais elevadas e sempre positivas (Tabela 14). No ano de 2009, na folha as correlações embora significativas foram mais baixas que no ano anterior e na bainha foram obtidas baixas correlações negativas.

Vale ressaltar que na condução dos experimentos, nos dois anos de cultivo, a precipitação variou muito pouco e o déficit hídrico no solo foi quase nulo durante os períodos de coleta, sendo a nebulosidade seguida da temperatura os parâmetros que mais variaram.

Tabela 12 - Teor de N-NH₄⁺ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acacia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
µmoles N-NH ₄ ⁺ .g ⁻¹ de massa fresca												
Folha												
Três Meses*	0,25	3,18	0,52	1,31 Aa	0,25	3,28	0,52	1,35 Aa	0,25	1,63	0,52	0,80 Bb
Bonança**	0,25	3,42	0,52	1,40 Aa	0,25	2,89	0,52	1,20 Bb	0,25	2,42	0,52	1,06 Ac
Média	0,25 c	3,30 a	0,52 b		0,25 c	3,05 a	0,52 b		0,25 c	2,03 a	0,52 b	
Média		1,35 a				1,27 a					0,93 b	
CV (%) 17,735												
Bainha												
Três Meses	0,24	1,62	0,52	0,79 Ba	0,24	1,45	0,52	0,74 Bb	0,24	1,46	0,52	0,74 Ab
Bonança	0,24	2,28	0,52	1,02 Aa	0,24	2,12	0,52	0,96 Ab	0,24	1,50	0,52	0,75 Ac
Média	0,24 c	1,95 a	0,52 b		0,24 c	1,79 a	0,52 b		0,24 c	1,47 a	0,52 b	
Média		0,90 a				0,85 b					0,74 c	
CV (%) 9,553												

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúscula iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada

Tabela 13 - Teor de N-NH₄⁺ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acácia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
μmoles N-NH ₄ ⁺ .g ⁻¹ de massa fresca												
Folha												
Piauí*	3,16	3,55	0,87	2,53	3,06	4,05	0,98	2,70	2,51	2,80	0,37	1,89
IAC-47**	3,22	3,57	0,73	2,51	3,04	3,64	0,67	2,45	2,39	2,57	0,67	1,88
Média	3,19 b	3,56 a	0,80 c		3,05 b	3,85 a	0,83 c		2,45 b	2,69 a	0,52 c	
Média		2,52 a				2,58 a					1,89 b	
CV (%) 17,042												
Bainha												
Piauí	2,39	3,05	0,57	2,00	2,78	3,43	0,17	2,13	2,66	2,76	0,02	1,81
IAC-47	2,56	2,93	0,21	1,90	2,92	3,01	0,52	2,15	2,32	2,41	0,13	1,62
Média	2,48 b	2,99 a	0,39 c		2,85 b	3,22 a	0,35 c		2,49 a	2,59 a	0,08 b	
Média		1,95 b				2,14 a					1,72 c	
CV (%) 19,766												

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúscula iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada

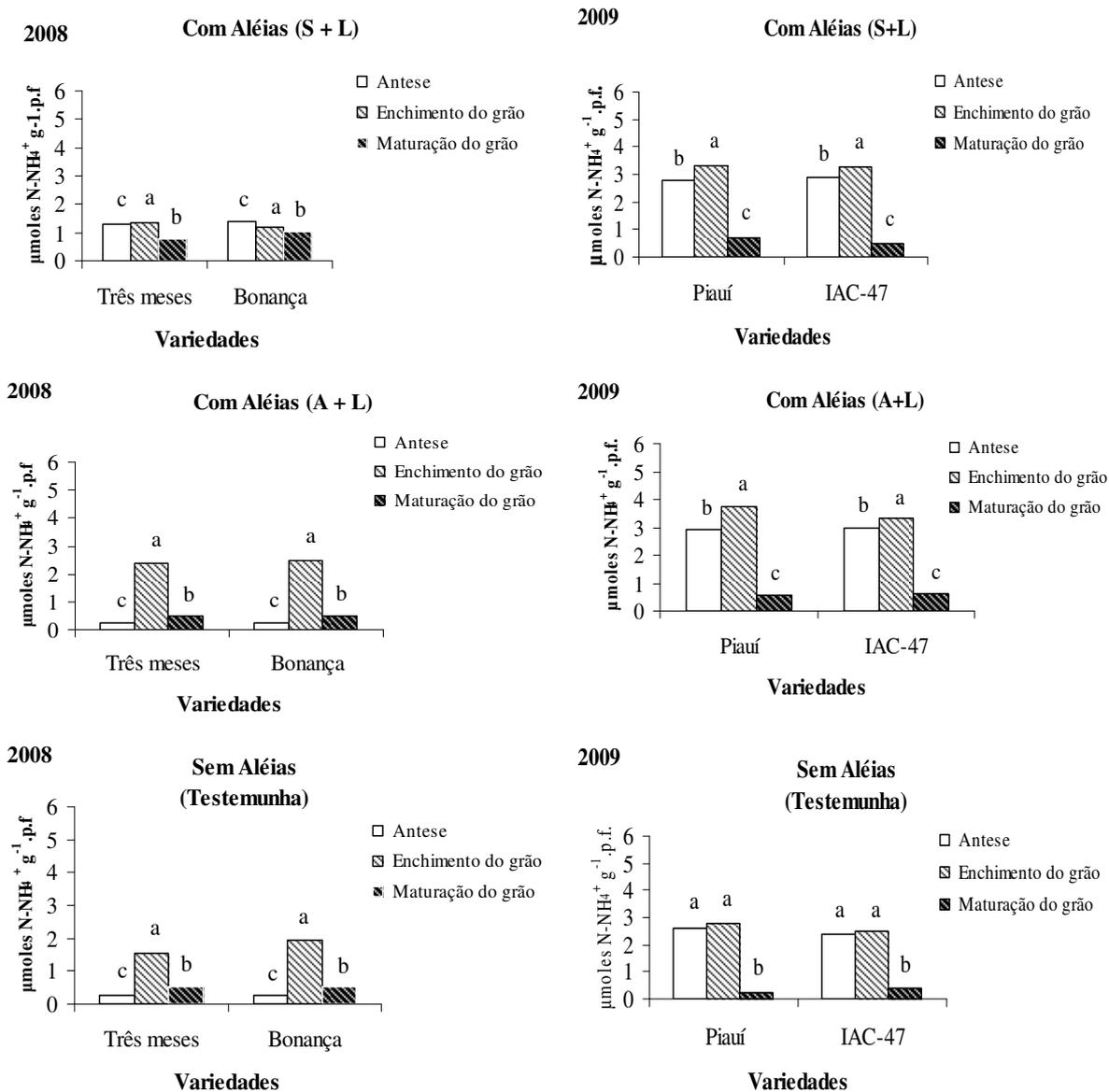


Figura 18 - Teor de N-NH_4^+ nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias, no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento de grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

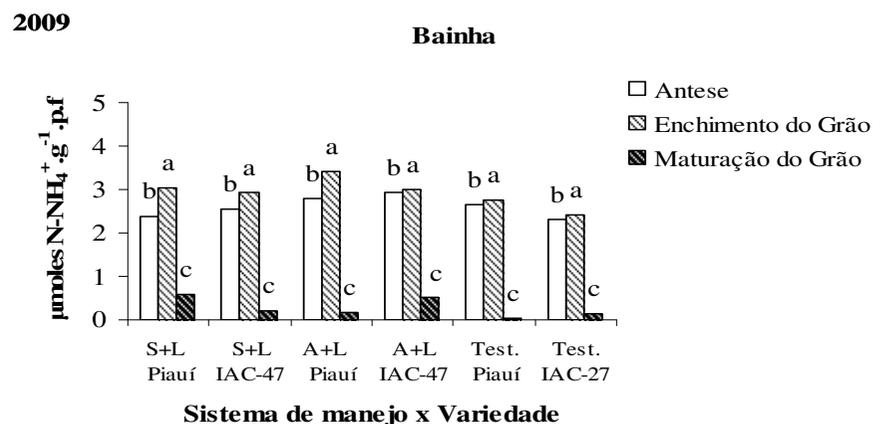
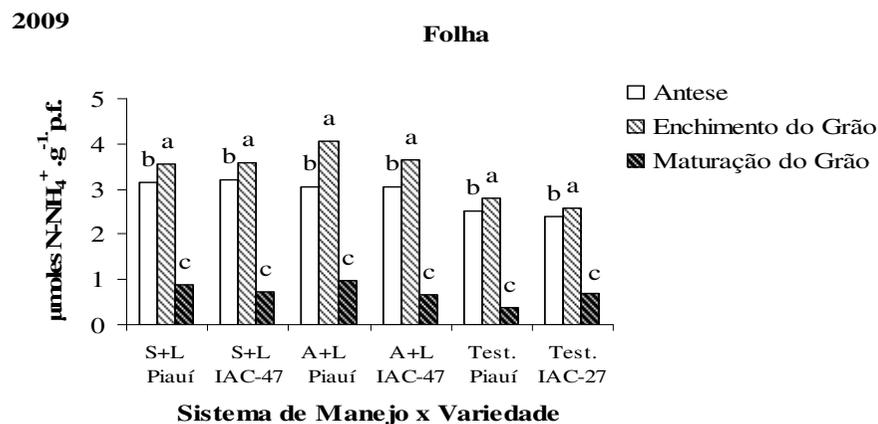
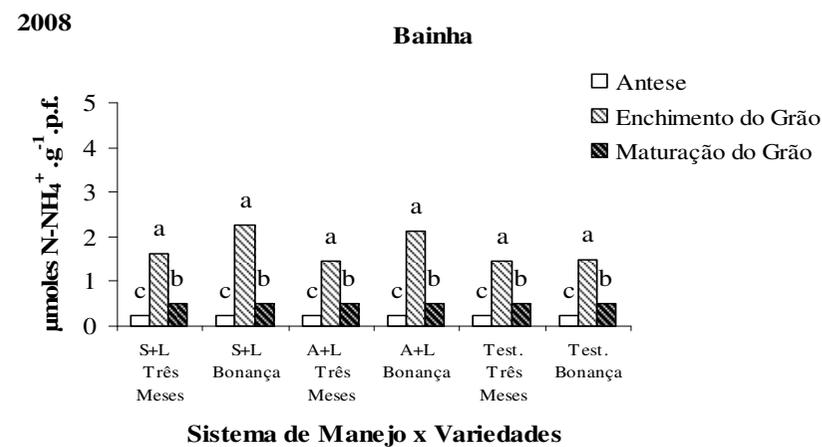
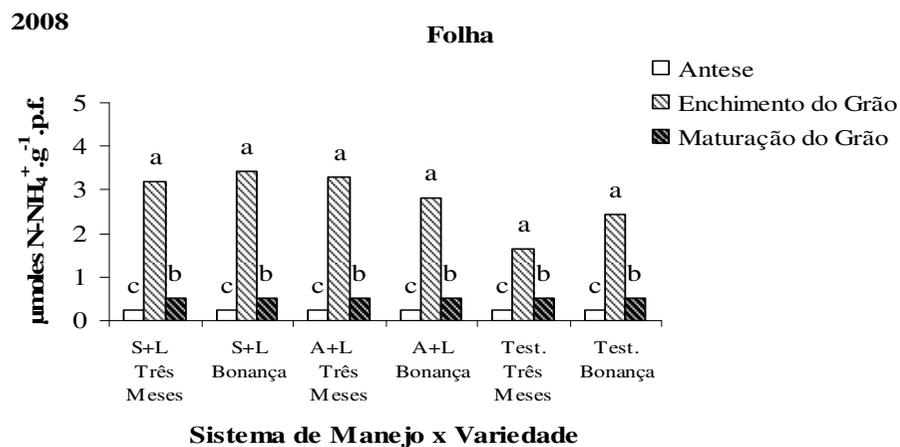


Figura 19 - Teor de N-NH₄⁺ nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009 Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade

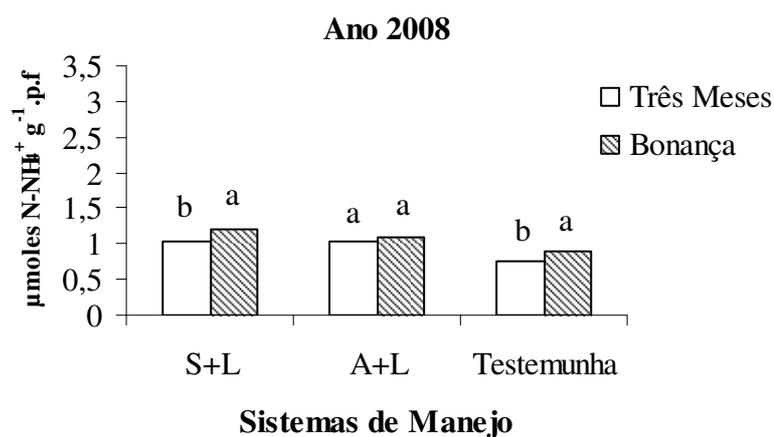


Figura 20 - Teor de N-NH₄⁺ nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no ano de 2008. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade

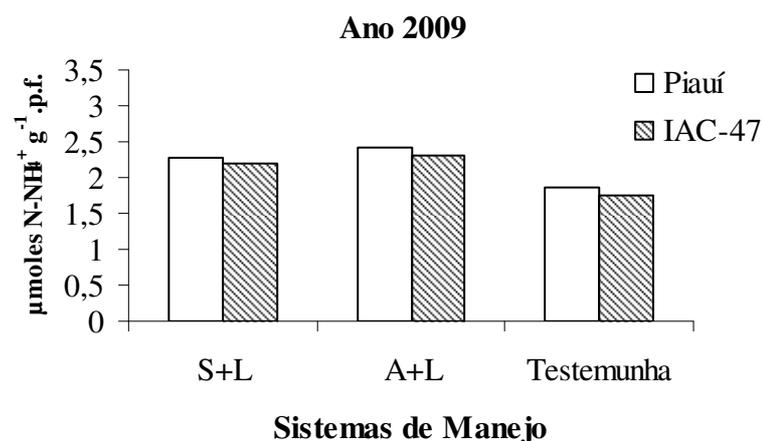


Figura 21 - Teor de N-NH₄⁺ nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L =Acácia +Leucena) no ano de 2009. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Tabela 14 – Valores das correlações de Pearson entre o teor de Amônio, a atividade da nitrato redutase e os teores de nitrato, N-amino e açúcar solúvel nas folhas e bainhas de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009.

Interações com N-NH ₄ ⁺	2008	2009
	r	r
NH ₄ +folha x ANR folha	0,87*	0,71*
NH ₄ +folha x ANR bainha	0,91*	0,33*
NH ₄ +folha x NO ₃ ⁻ folha	0,57*	0,22 ^{ns}
NH ₄ +folha x NO ₃ ⁻ bainha	0,84*	0,35*
NH ₄ +folha x N-amino folha	0,73*	0,44*
NH ₄ +folha x N-amino bainha	0,76*	0,41*
NH ₄ + folha x Açúcar solúvel folha	0,72*	0,64*
NH ₄ + folha x Açúcar solúvel bainha	0,69*	-0,08 ^{ns}
NH ₄ + bainha x ANR folha	0,87*	0,61*
NH ₄ + bainha x ANR bainha	0,86*	0,25*
NH ₄ + bainha x NO ₃ ⁻ folha	0,54*	0,11 ^{ns}
NH ₄ + bainha x NO ₃ ⁻ bainha	0,89*	0,32*
NH ₄ + bainha x N-amino folha	0,73*	0,38*
NH ₄ + bainha x N-amino bainha	0,80*	0,36*
NH ₄ + bainha x Açúcar solúvel folha	0,71*	0,51*
NH ₄ + bainha x Açúcar solúvel bainha	0,79*	-0,12 ^{ns}

ANR = Atividade da Nitrato Redutase; NO₃⁻ = Nitrato, NH₄⁺ = Amônio

**Correlação significativa (p<0,01)

*Correlação significativa (p<0,05)

^{ns}Correlação significativa

b) Teor de nitrato

Os resultados referentes aos teores de N-NO₃⁻ mostraram que no geral houve diferença significativa (p<0,05) entre os sistemas de manejo, as variedades de arroz e as três épocas de amostragem (Tabelas 15 e 16). Em 2008, os valores médios de N-NO₃⁻ foram mais elevados significativamente, porém sem diferenças significativas entre os sistemas de manejo com e sem aléias. As diferenças ocorreram entre as variedades de arroz e as épocas de amostragem com pequena variação nos conteúdos de nitrato entre as diferentes épocas (Tabela 15).

Em 2009, os teores de N-NO₃⁻ acumulados foram em média menores que os do ano anterior (Tabela 16). É provável que, devido ao fato do experimento ter sido conduzido na mesma área sob condições de baixa disponibilidade de N por dois anos consecutivos, o nitrato na solução do solo pode ter contribuído para a falta de aumento significativo de nitrato ao longo do ciclo da cultura no segundo ano. Outro aspecto é o volume de precipitação no segundo ano do experimento (Figura 3). Houve um aumento na média de precipitação e reduzida luminosidade o que pode ter favorecido uma redução da taxa fotossintética e consequente redução na assimilação de NO₃⁻. Outra hipótese seria a possibilidade de ocorrência de perdas por lixiviação mesmo nas parcelas constituídas por aléias onde o solo apresentava-se com cobertura vegetal, porém como não se tratava de uma cobertura muito densa e por se tratar de um solo arenoso as perdas por lixiviação têm que ser considerada.

As perdas de NO₃⁻ por lixiviação ocorrem quando os nutrientes são carreados pelo movimento de água no solo além da extensão do sistema radicular. Essas perdas serão em função da disponibilidade e solubilidade das formas em que esses nutrientes apresentam-se no solo, bem como as características de drenagem do solo e da quantidade e distribuição das chuvas (Myers et al., 1994; Russele, 1997).

Entre as variedades, observou-se o mesmo perfil metabólico para os teores de N-NO_3^- , porém com grande variação no conteúdo entre os dois anos de cultivo (Figura 22). Os teores nas coletas realizadas na antese foram sempre mais baixos, sendo que os maiores teores de N-NO_3^- foram acumulados por ocasião do enchimento de grãos (30 DDA). Na maturação o teor de N-NO_3^- diminuiu em todas as partes da planta, provavelmente devido ao esgotamento do conteúdo de NO_3^- no solo e remobilização desse íon da parte aérea para os grãos.

As variedades locais, Piauí e Três Meses acumularam maiores teores de N-NO_3^- na parte aérea (folha e bainha) quando comparado as variedades melhoradas Bonança e IAC-47, sendo que os teores de N-NO_3^- nas folhas foram sempre maiores em relação às bainhas (Figura 23). Os baixos teores de N-NO_3^- encontrados nas folhas das variedades melhoradas, Bonança e IAC-47, tanto no ano de 2008 como em 2009 estão relacionados com a maior ANR, demonstrando que o N-NO_3^- absorvido foi prontamente reduzido e refletem a menor capacidade dessas variedades em armazenar N na forma de nitrato em seus vacúolos (Figura 23). Os maiores teores de N-NO_3^- nas folhas das variedades locais correlacionaram-se com a menor atividade da Nitrato Redutase para essas variedades. Nas bainhas, embora os teores de N-NO_3^- tenham sido menores, as variedades locais Três Meses e Piauí acumularam mais N-NO_3^- que as melhoradas, tanto em 2008 como em 2009. Esses resultados direcionam para uma possível remobilização de NO_3^- estocado no vacúolo e indicam que tanto as variedades locais (Três Meses e Piauí) como as variedades melhoradas (Bonança e IAC-47) apresentam um pool de reserva nas bainhas e reforçam a hipótese de que em plantas de arroz a maior quantidade de nitrato acumulado está localizada nas bainhas, que pode ser considerado um tecido pouco ativo para redução e assimilação de N-NO_3^- .

Esse comportamento reforça a hipótese de que as variedades locais acumulam o N-NO_3^- absorvido nos tecidos para utilizá-lo posteriormente na remobilização. Hirel et al. (2001) trabalhando com remobilização de N em milho chegou a conclusão que o aumento da produtividade era devido a capacidade de acumular e remobilizar o N-NO_3^- que foi absorvido durante o ciclo vegetativo da cultura. Souza et al. (1998; 1999) afirmam que a capacidade de rápido acúmulo de N-NO_3^- na fase inicial de crescimento pode propiciar um maior estoque de N disponível para o metabolismo das plantas de arroz nas fases posteriores de seu ciclo de vida, principalmente quando do enchimento dos grãos.

Segundo Santos (2006) a planta quando sob deficiência de nitrato na solução do solo inicia o processo de remobilização desse nutriente para que possam ser mantidas todas as reações e processos metabólicos necessários para sua sobrevivência. A saída deste nutriente do pool de reserva (vacúolo) da planta se dá através de um simporte com um próton $\text{NO}_3^- / \text{H}^+$, sendo, portanto sendo necessário a criação de um gradiente de prótons de dentro para fora do vacúolo para que este nutriente possa ser remobilizado. A criação deste gradiente de prótons se dá à custa de energia metabólica (ATP e PPi) através da ação de duas bombas de prótons presentes na membrana vacuolar (H^+ -ATPase e H^+ -PPase).

Entre as épocas de amostragem e dentro de cada sistema de manejo, houve diferença significativa nos dois anos de cultivo, e assim como no ano anterior, na época de enchimento dos grãos observou-se maior acúmulo de N-NO_3^- (Figura 23). Entre os sistemas, os maiores teores de N-NO_3^- foram observados na combinação sombreiro+leucena e entre as variedades só houve diferença nas bainhas. No geral os maiores teores de N-NO_3^- foram observados nas folhas e a variedade Piauí apresentou teores maiores que a IAC-47 (Figuras 24 e 25).

Foram observadas correlações positivas significativas ($p < 0,05$) entre o teor de nitrato na bainha e a ANR ($r = 0,85$ e $r = 0,81$ para folha e bainha respectivamente), teor de amônio ($r = 0,79$ e $r = 0,89$), entre o N-amino ($r = 0,77$ e $r = 0,81$ para folha e bainha respectivamente) e açúcar solúvel ($r = 0,63$ e $r = 0,77$). Isto se deve ao maior acúmulo de nitrato encontrado nesse tecido. No ano de 2009 as correlações quando significativas foram muito baixas (Tabela 17).

Tabela 15 - Teor de N-NO₃⁻ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acacia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
µmoles N-NO ₃ ⁻ .g ⁻¹ de massa fresca												
Folha												
Três Meses*	13,83	25,98	23,12	20,98 Ab	26,81	29,05	27,84	27,9 Aa	15,40	23,18	24,93	21,17 Ab
Bonança**	15,95	23,40	23,12	20,82 Aa	16,03	23,32	19,42	19,59 Ba	15,24	23,31	20,83	19,79 Aa
Média	14,89 b	24,69 a	23,12 a		21,42 b	26,18 a	23,63 c		15,32 c	23,24 a	22,88 b	
Média	20,9				23,75				20,48			
CV (%) 11,684												
Bainha												
Três Meses	6,43	15,31	8,71	10,15	7,37	19,92	8,24	11,84	5,8	15,05	7,45	9,43
Bonança	4,69	16,02	8,16	9,62	4,93	14,82	7,68	9,14	2,49	15,9	8,55	8,89
Média	5,56 c	15,67 a	8,44 b		6,15 b	17,37 a	7,96 b		4,15 c	15,47 a	8,25 b	
Média	9,89				10,49				9,29			
CV (%) 18,30												

as na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada

Tabela 16 - Teor de N-NO₃⁻ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acácia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
μmoles N-NO ₃ ⁻ .g ⁻¹ de massa fresca												
Folha												
Piauí*	2,47	3,27	2,05	2,60 ns	0,67	2,18	0,81	1,22 ns	1,16	1,94	1,26	1,45 ns
IAC-47**	1,42	3,15	2,49	2,35 ns	0,17	1,58	1,25	1,00 ns	0,23	1,71	1,57	1,17 ns
Média	1,94	3,21	2,27		0,42	1,88	1,03		0,69	1,83	1,41	
Média	2,47 a				1,11 b				1,31 b			
CV (%) 34,068												
Bainha												
Piauí	1,25	2,28	1,86	1,80 Aa	0,10	1,87	1,45	1,14 Ab	0,75	1,68	0,43	0,95 Bb
IAC-47	0,81	2,46	0,74	1,34 Ba	0,67	2,00	0,74	1,14 Aa	0,77	2,00	1,05	1,27 Aa
Média	1,03 c	2,37 a	1,30 b		0,38 c	1,94 a	1,10 b		0,76 b	1,84 a	0,74 b	
Média	1,57 a				1,14 b				1,11 b			
CV (%) 32,104												

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada

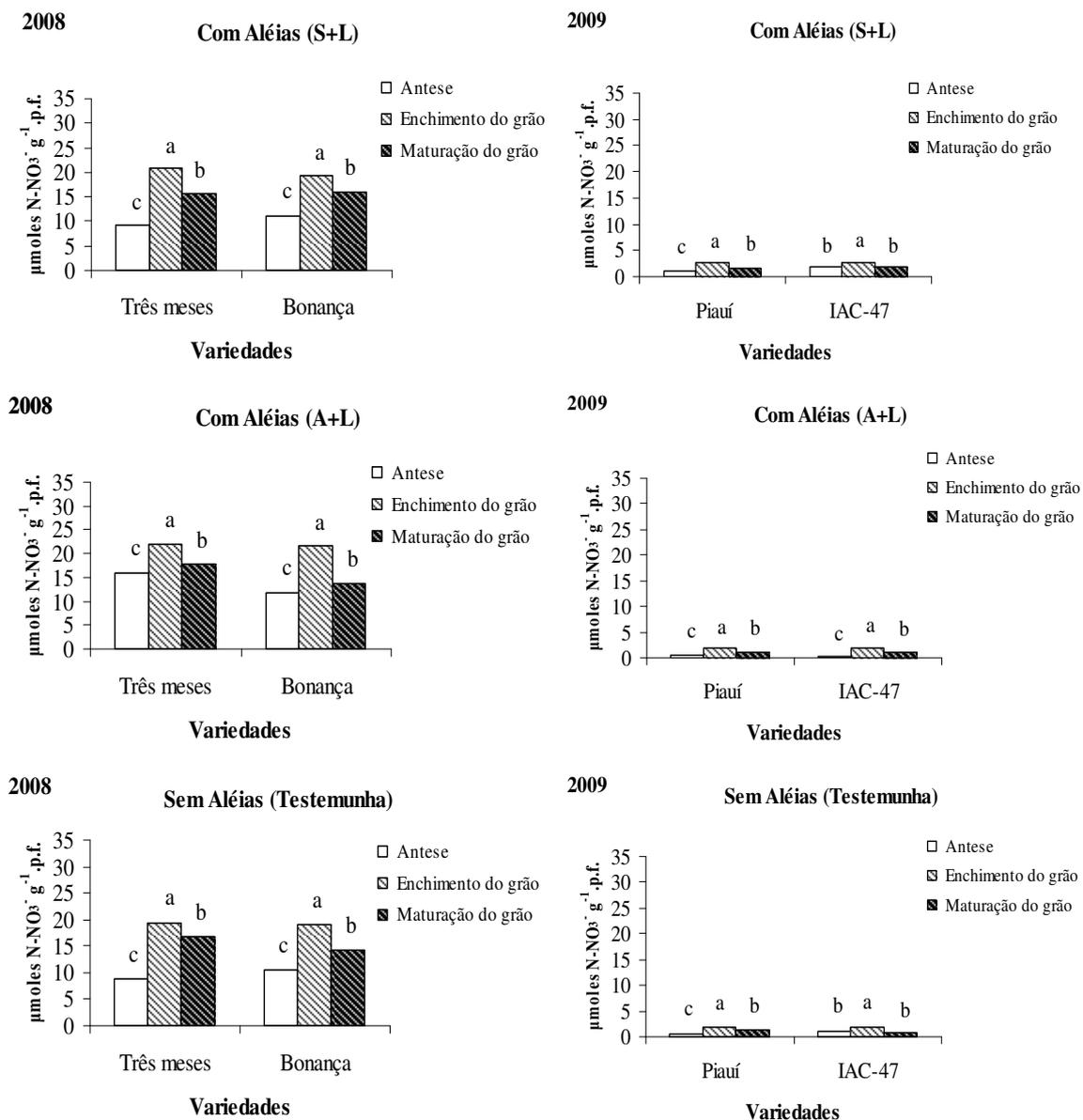


Figura 22 - Teor de N-NO_3^- nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia + Leucena), no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

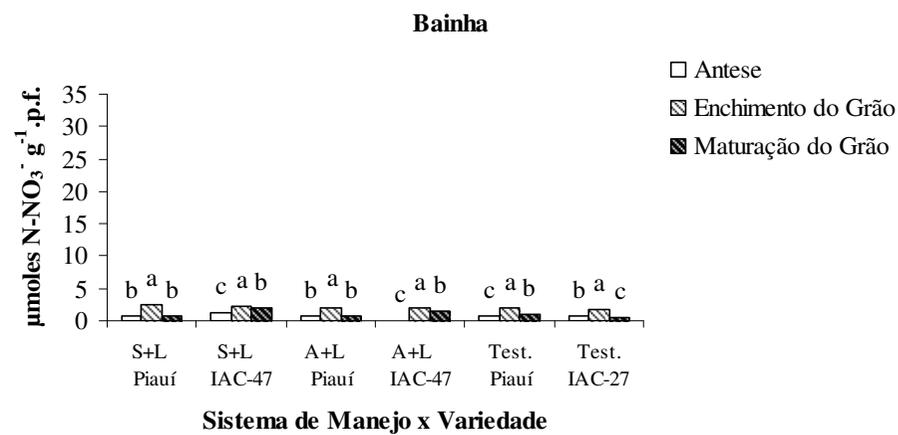
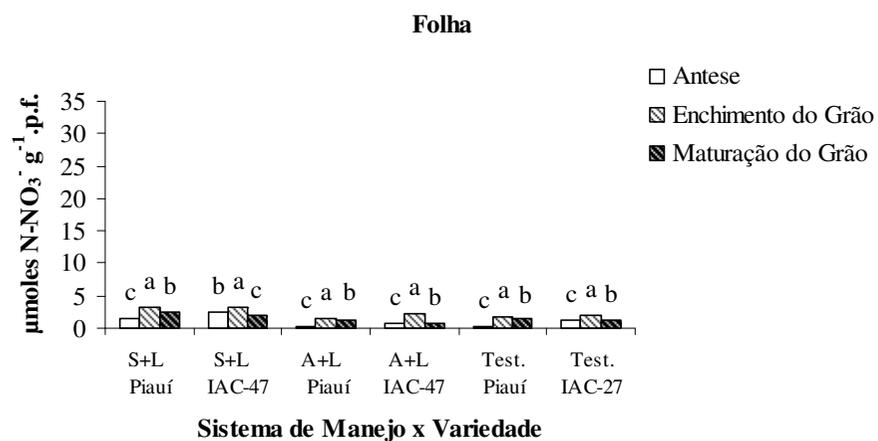
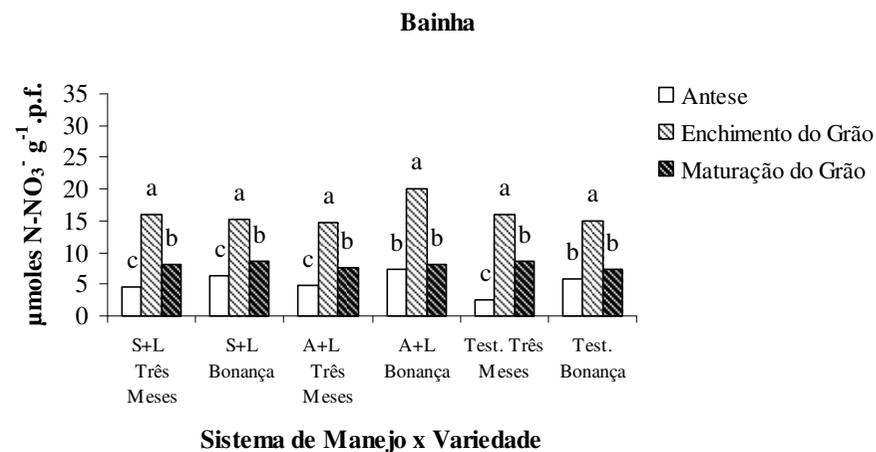
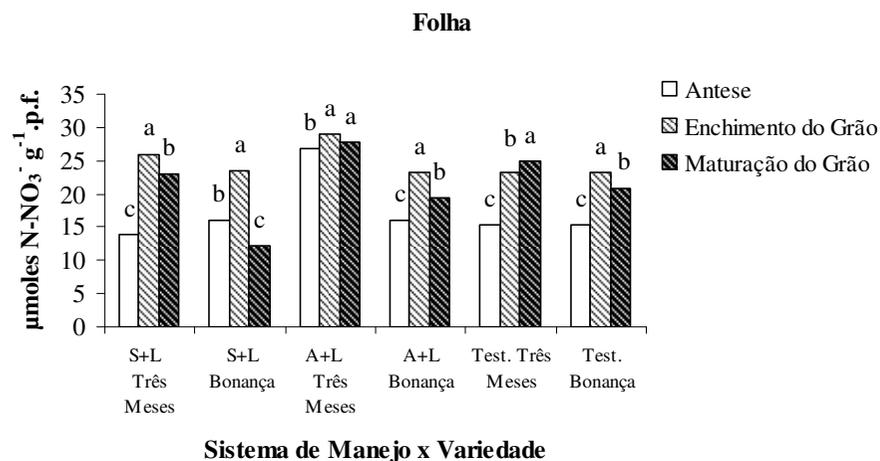


Figura 23 - Teor de N-NO_3^- nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009 Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

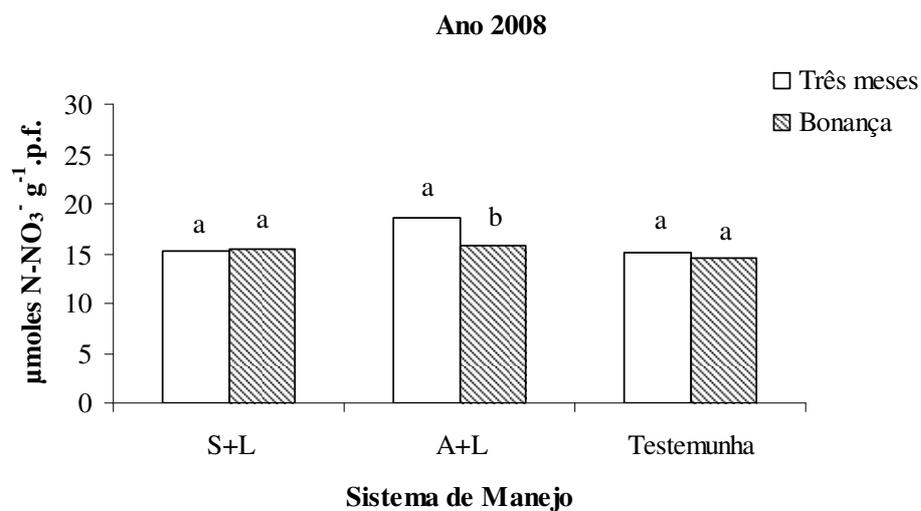


Figura 24 - Teor de N-NO₃⁻ nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no ano de 2008. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

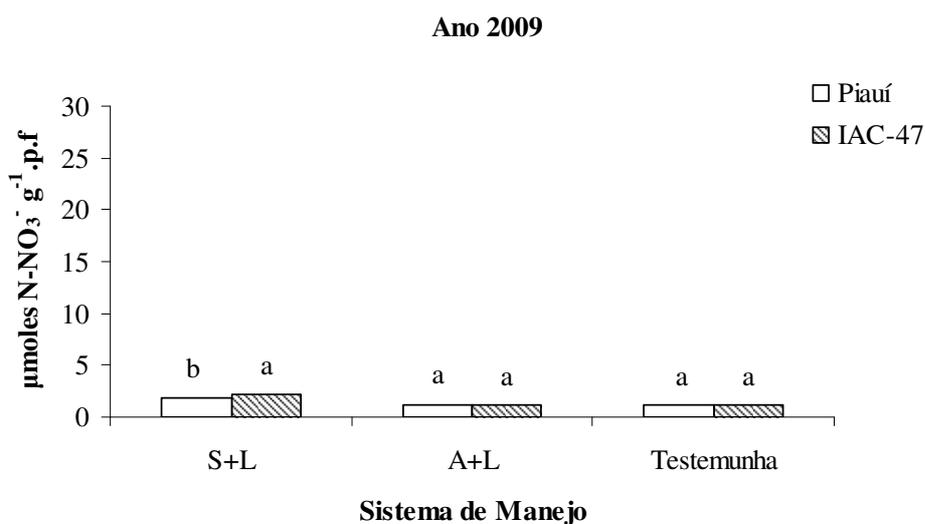


Figura 25 - Teor de N-NO₃⁻ nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no ano de 2009. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Tabela 17 – Valores das correlações de Pearson entre os teores de nitrato, a atividade da nitrato redutase e o teor de amônio, N-amino e açúcar solúvel nas folhas e bainhas de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009.

Interações com N-NO ₃ ⁻	2008	2009
	r	R
NO ₃ ⁻ folha x ANR folha	0,46*	0,22*
NO ₃ ⁻ folha x ANR bainha	0,46*	0,11*
NO ₃ ⁻ folha x NH ₄ ⁺ folha	0,57*	0,36*
NO ₃ ⁻ folha x NH ₄ ⁺ bainha	0,54*	0,19 ^{ns}
NO ₃ ⁻ folha x N-amino folha	0,55*	0,53*
NO ₃ ⁻ folha x N-amino bainha	0,47*	0,58*
NO ₃ ⁻ folha x Açúcar solúvel folha	0,43*	0,36*
NO ₃ ⁻ folha x Açúcar solúvel bainha	0,52*	0,46*
NO ₃ ⁻ bainha x ANR folha	0,85*	0,54*
NO ₃ ⁻ bainha x ANR bainha	0,81*	0,20 ^{ns}
NO ₃ ⁻ bainha x NH ₄ ⁺ folha	0,79*	0,36*
NO ₃ ⁻ bainha x NH ₄ ⁺ bainha	0,89*	0,32*
NO ₃ ⁻ bainha x N-amino folha	0,77*	0,62*
NO ₃ ⁻ bainha x N-amino bainha	0,81*	0,67*
NO ₃ ⁻ bainha x Açúcar solúvel folha	0,63*	0,37*
NO ₃ ⁻ bainha x Açúcar solúvel bainha	0,77*	0,55*

ANR = Atividade da Nitrato Redutase; NO₃⁻ = Nitrato, NH₄⁺ = Amônio

**Correlação significativa (p<0.01)

*Correlação significativa (p<0,05)

^{ns}Correlação significativa

c) Teor de N-amino livre

Foram observadas diferenças significativas (p<0,05) nos teores de N-amino livre, encontrados nas folhas e bainhas das variedades locais e melhoradas de arroz entre os dois sistemas de manejo com e sem aléias e nas diferentes épocas de amostragem (Tabelas 18 e 19). Em 2008, não foram observadas diferenças significativas entre as variedades Três Meses e Bonança quanto ao acúmulo de N-amino livre nas folhas. Contudo, os conteúdos na folhas foram sempre maiores que nas bainhas para as duas variedades.

Entre os sistemas de manejo, no ano de 2008 os teores de N-amino livre foram mais elevados no cultivo com aléias resultante da combinação de acácia+leucena. As variedades não diferiram nos sistemas de manejo, porém comportaram-se de maneira desigual, nos tratamentos com sombreiro+leucena e na testemunha a variedade Três Meses apresentou teores mais elevados enquanto que no tratamento com acácia+leucena a variedade Bonança teve os maiores teores (Figura 26).

Silveira & Machado (1990), atribuíram o aumento de N-amino na parte aérea seja resultado de um processo de senescência provocado pelas baixas doses de N e reduzida luminosidade.

No ano de 2008, os teores de N-amino encontrados nas variedades Três Meses e Bonança respectivamente foram mais elevados em torno de 9,80 a 13,30 μmoles de N-amino.g⁻¹.p.f. nas folhas e 6,89 a 14,45 μmoles de N-amino.g⁻¹.p.f. para as bainhas, porém esses teores não caracterizam excesso de absorção de nitrogênio. Valores em torno de 20 μmoles de N-amino.g⁻¹.p.f. foram encontrados por Fernandes (1990).

No ano de 2009, os teores de N-Amino livre encontrados nas variedades Piauí e IAC-47 foram mais baixos, variando entre 4,18 a 7,08 e 2,13 a 4,23 μmoles de N-amino.g⁻¹.p.f. para folha e bainha respectivamente mostrando-se coerente com os baixos teores de N-NO₃⁻ observados para estas variedades no mesmo ano, porém observou-se o mesmo

comportamento do ano anterior, houve diferença entre os sistemas de manejo e nas diferentes épocas de amostragem, porém, com relação às variedades, as diferenças ocorreram nas folhas (Tabela 19). Valores muito próximos a esses foram encontrados por Souza (1990) em plantas de arroz no final do ciclo.

No ano de 2009, os teores de N-Amino livre foram baixos em todos os sistemas de manejo destacando-se o tratamento com sombreiro+leucena e praticamente não houve grandes variações para os teores apresentados. As variedades IAC-47 e Piauí não diferiram entre si (Figura 27).

Nos dois anos do experimento, os maiores teores de N-amino livre foram observados nas folhas de todas as variedades independentemente do sistema de manejo utilizado no cultivo (Tabelas 18 e 19). Isso pode ter ocorrido em função da folha ser caracterizada como um sítio de intensa atividade metabólica. Segundo Ferraz Jr. (1993) a síntese de N-amino nas folhas requer esqueletos de carbono, produzidos pela fotossíntese, os quais são usados tanto para a incorporação dos grupamentos amínicos, quanto para a geração de energia no processo respiratório, necessária a esta incorporação. Portanto altos teores de N-amino nas folhas indicam que parte dos esqueletos de carbono que poderiam ser usados na produção de carboidratos nos grãos, foram usados na síntese de N-amino.

Perez et al. (1973) citado por Ferraz Jr. (1993), verificaram que as cultivares de alto teor de proteína bruta, alcançaram maiores concentrações de N-amino nas folhas em relação a cultivares de baixo teor de proteína bruta. Segundo Cruz et al. (1970) as correlações positivas entre os teores de N-amino e os teores de proteína bruta dos grãos são óbvias, devido aos aminoácidos serem os precursores das proteínas de reservas dos grãos.

Durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de arroz observou-se que para as quatro variedades houve picos de elevação nos teores de N-amino livre na época de enchimento dos grãos com ligeira redução na maturação em todos os sistemas de manejo (Figuras 27). É provável que os picos de N-amino livre presentes nas folhas e bainhas das variedades de arroz, tenham sido provocados pela hidrólise de proteínas devido ao processo de senescência.

Os elevados teores de N-amino livre no período de enchimento dos grãos sugerem que os mesmos podem estar relacionados ao N já remobilizado e assim ter contribuído para o acúmulo de NO_3^- nos tecidos foliares. Esse acúmulo de N-amino observados nas folhas por ocasião do enchimento dos grãos não afetou a acumulação de N nas proteínas dos grãos e nem a massa seca de grãos. Os maiores teores de N-amino livre nos tecidos foliares estão relacionados também ao aumento nos teores de N-NO_3^- , como demonstrado por Souza et al. (1999), em que a aplicação de doses crescentes de N na forma de URAN (fertilizante líquido contendo uréia, amônio e nitrato) levou a um aumento no teor de N-amino livre e diminuição nos níveis de açúcares solúveis quando da aplicação da maior dose de N ($60 + 60 \text{ kg N ha}^{-1}$). Entre os sistemas de manejo também foram observadas diferenças significativas (Figuras 28 e 29).

Foram observadas correlações positivas entre o N-amino, N-NO_3^- , N-NH_4^+ e ANR nas folhas e bainhas das variedades de arroz, porém, não se obteve correlações significativas entre o N-amino com o peso de 1000 grãos, a produção de grãos e o percentual de proteína bruta dos grãos, embora os aminoácidos sejam os precursores das proteínas de reserva dos grãos (Tabela 20).

Tabela 18 - Teor de N-amino nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acacia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
..... µmoles N-amino.g ⁻¹ de massa fresca.....												
Folha												
Três Meses*	1,66	25,64	2,83	10,04 ns	2,65	20,41	15,04	12,7 ns	1,66	23,62	14,05	13,11 ns
Bonança**	6,34	17,59	5,75	9,89 ns	5,51	15,72	15,25	12,16 ns	1,69	30,69	7,52	13,30 ns
Média	4,00 b	21,6 a	4,29 b		4,08 c	18,07 a	15,15 b		1,68 c	27,16 a	10,79 b	
Média		9,97 b				12,43 a				13,21 a		
CV (%) 20,340												
Bainha												
Três Meses	1,73	21,00	3,93	8,89 Ab	2,84	19,55	16,51	12,97 Ba	0,89	13,34	12,92	9,05 Ab
Bonança	3,09	13,42	4,15	6,89 Bb	3,59	29,11	10,64	14,45 Aa	3,17	16,42	3,09	7,56 Bb
Média	2,41 c	17,21 Ba	4,04 b		3,22 c	24,33 a	13,58 b		2,03 c	14,88 a	8,01 b	
Média		7,89 b				13,71 a				8,31 b		
CV (%) 17,868												

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada.

Tabela 19 - Teor de N-amino nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acácia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
$\mu\text{moles N-amino g}^{-1}$ de massa fresca												
Folha												
Piauí*	3,65	7,44	3,28	4,79 Ba	3,85	7,57	2,72	4,71 Aa	3,00	5,68	4,62	4,43 Aa
IAC-47**	2,42	15,70	3,13	7,08 Aa	2,46	7,68	3,68	4,61 Ab	3,30	6,35	2,89	4,18 Ab
Média	3,04 b	11,57 a	3,21 b		3,15 b	7,63 a	3,20 b		3,15 b	6,02 a	3,75 b	
Média		5,94 a				4,66 b				4,31 b		
CV (%)	34,741											
Bainha												
Piauí	2,50	6,06	4,12	4,23 ns	3,04	4,19	3,92	3,72 ns	1,66	3,97	0,77	2,13 ns
IAC-47	2,54	6,21	3,11	3,95 ns	2,29	6,57	3,04	4,18 ns	1,57	6,59	1,43	3,20 ns
Média	2,52 c	6,14 a	3,62 b		2,67 c	5,38 a	3,48 b		1,62 b	5,28 a	1,10 b	
Média		4,09 a				3,84 a				2,67 b		
CV (%)	28,081											

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada.

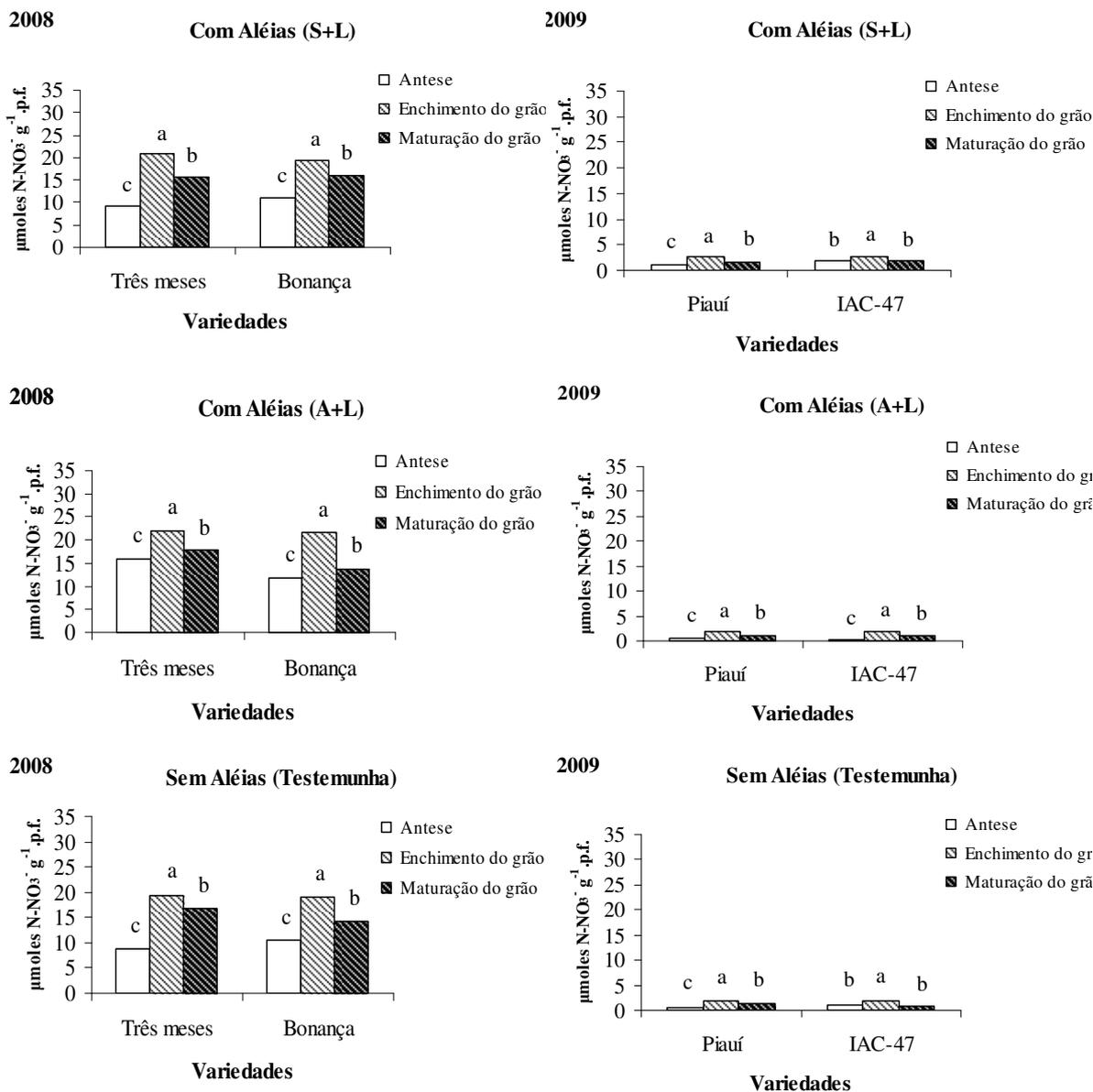


Figura 26 - Teor de N-amino nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia + Leucena), no município de São Luis – MA, em coletadas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

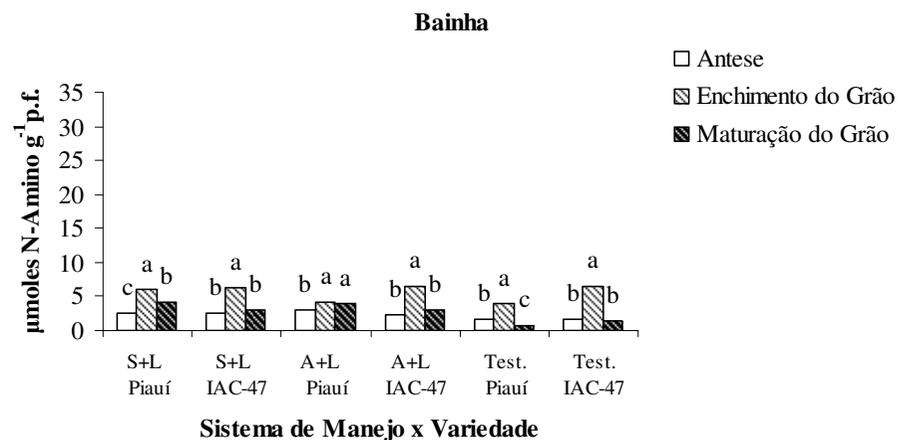
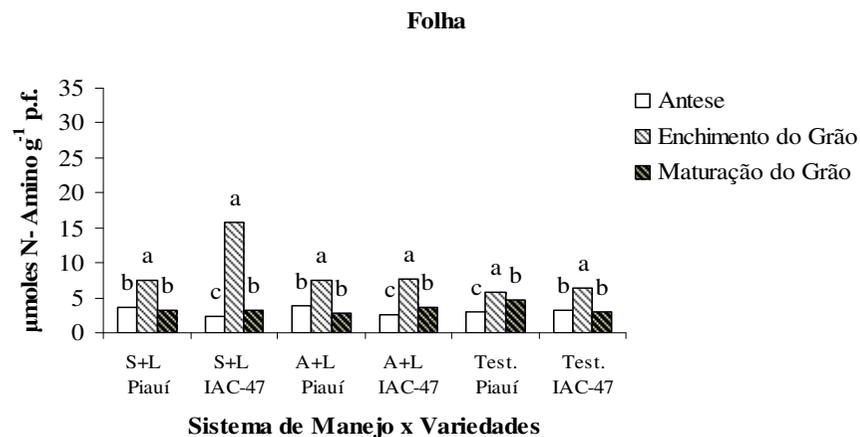
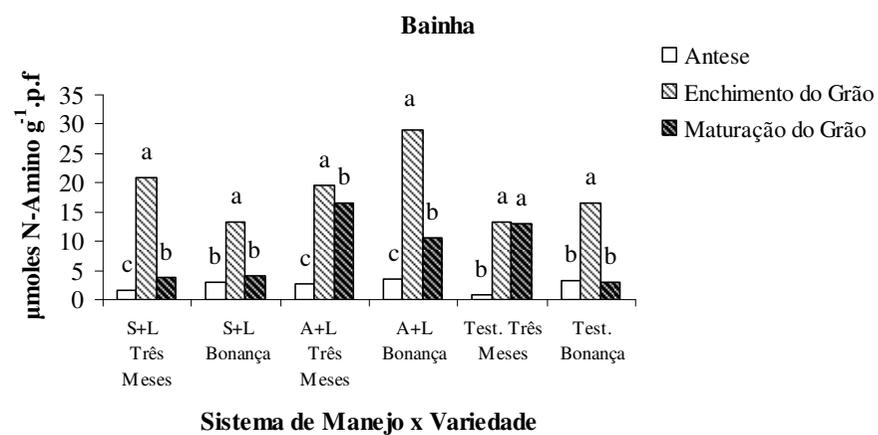
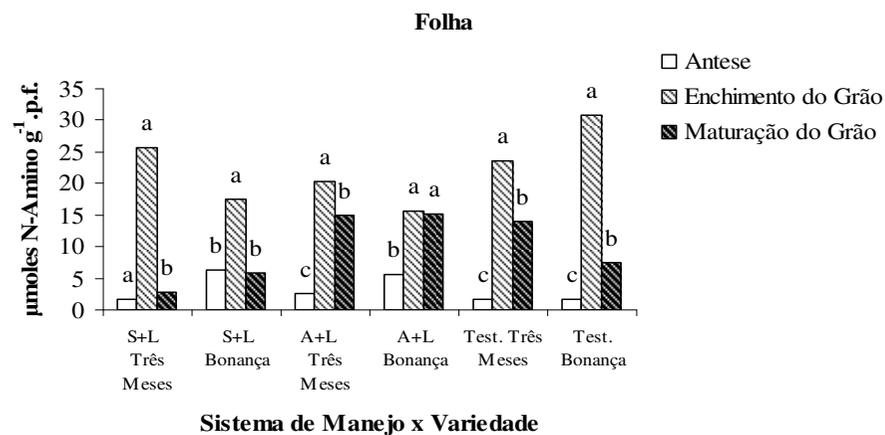


Figura 27 - Teor de N-Amino nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009 Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

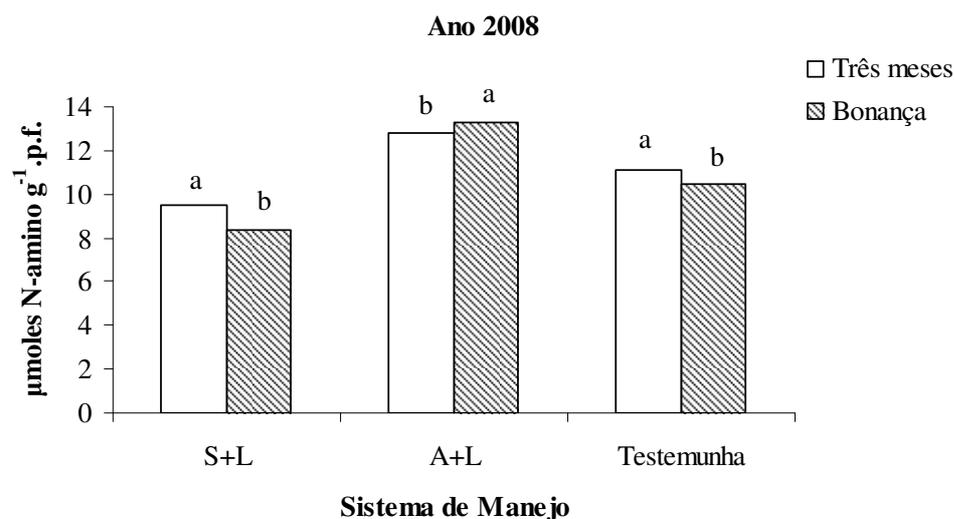


Figura 28 - Teor de N-amino nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no município de São Luis – MA, no ano de 2008. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

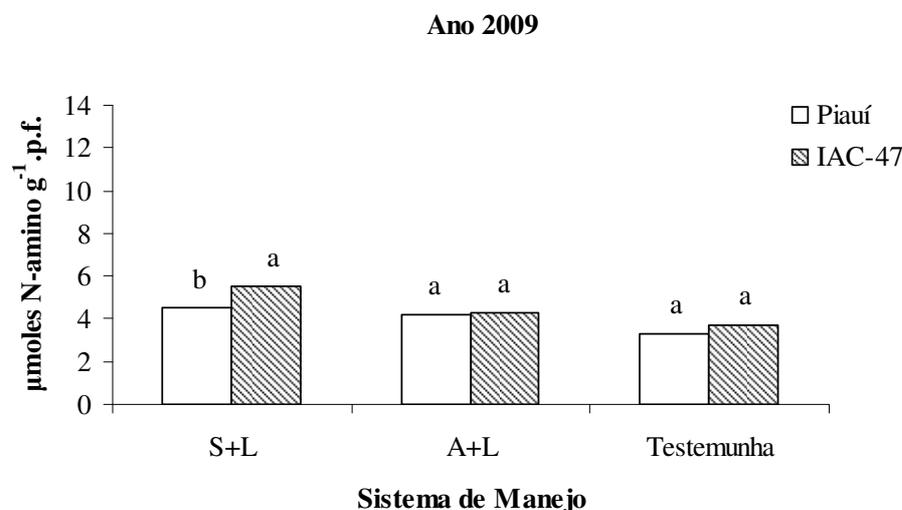


Figura 29 - Teor de N-amino nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena) no município de São Luis – MA.,no ano de 2009. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Tabela 20 – Valores das correlações de Pearson entre os teores de N-amino, ANR, teores de amônio, nitrato, açúcar solúvel, N-protéico nas folhas e bainhas, além da proteína bruta, peso de 1000 grãos e produção de grãos das variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009.

Interações com N-amino	2008	2009
	r	r
N-amino folha x ANR folha	0,62*	0,69*
N-amino folha x ANR bainha	0,25*	0,61*
N-amino folha x NH ₄ ⁺ folha	0,44*	0,73*
N-amino folha x NH ₄ ⁺ bainha	0,39*	0,74*
N-amino folha x N-NO ₃ ⁻ folha	0,53*	0,56*
N-amino folha x N-NO ₃ ⁻ bainha	0,62*	0,77*
N-amino folha x Açúcar solúvel folha	0,34*	0,56*
N-amino folha x Açúcar solúvel bainha	0,48*	0,69*
N-Amino folha x N-proteico folha	-0,34 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
N-Amino folha x N-protéico bainha	-0,58 ^{ns}	-0,48 ^{ns}
N-Amino folha x N-total do grão	0,57 ^{ns}	0,20 ^{ns}
N-amino folha x proteína bruta do grão	0,57 ^{ns}	-0,20 ^{ns}
N-amino folha x produção de grãos	0,30 ^{ns}	0,47 ^{ns}
N-amino bainha x ANR folha	0,63*	0,79*
N-amino bainha x ANR bainha	0,29*	0,78*
N-amino bainha x NH ₄ ⁺ folha	0,41*	0,77*
N-amino bainha x NH ₄ ⁺ bainha	0,37*	0,80*
N-amino bainha x N- NO ₃ ⁻ folha	0,58*	0,47*
N-amino bainha x N- NO ₃ ⁻ bainha	0,67*	0,82*
N-amino bainha x Açúcar solúvel folha	0,33*	0,61*
N-amino bainha x Açúcar solúvel bainha	0,52*	0,69*
N-Amino bainha x N-proteico folha	-0,17 ^{ns}	-0,38 ^{ns}
N-Amino bainha x N-proteico bainha	-0,59 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
N-amino bainha x proteína bruta do grão	0,43 ^{ns}	0,08 ^{ns}
N-amino bainha x N-total do grão	0,44 ^{ns}	0,02 ^{ns}
N-amino bainha x produção de grãos	0,30 ^{ns}	0,69 ^{ns}

ANR = Atividade da Nitrato Redutase; NO₃⁻ = Nitrato, NH₄⁺ = Amônio

**Correlação significativa (p<0.01)

*Correlação significativa (p<0,05)

^{ns}Correlação significativa.

d) Teor de açúcar solúvel

Os teores de açúcares solúveis nos tecidos vegetais são indicadores de energia prontamente disponível para o metabolismo celular Souza (1995). Assim a disponibilidade de açúcares está correlacionada com a demanda energética elevada.

No primeiro ano do experimento foram encontradas diferenças significativas (p<0,05) entre sistemas de manejo, épocas de amostragem e variedades de arroz quanto aos teores de açúcar solúvel (Tabela 21). Entre as variedades Três Meses e Bonança houve diferença significativa quanto aos teores de açúcar solúvel sem grandes variações entre as mesmas. Verificou-se que no sistema de manejo em aléias com sombreiro+leucena, na antese, as folhas das plantas da variedade Bonança (melhorada), apresentaram o dobro do teor de açúcar solúvel em comparação com a variedade local Três Meses (Tabela 21), Isto pode indicar uma menor atividade metabólica de redução de N por essa variedade, uma vez que nessa circunstância os altos teores de açúcar são indicadores de energia prontamente disponível (Souza, 1995) que será utilizada em tais atividades. Na variedade Três Meses (local), os teores

de açúcar encontrados foram mais baixos que os da variedade Bonança (melhorada) em todos os tratamentos acumulando em maior quantidade nas folhas variando entre 0,13 a 5,08 % e os menores teores foram encontrados nas bainhas variando de 0,13 a 4,43%. Já a variedade melhorada apresenta teores de açúcares nas folhas mais altos (4,27%), e baixos teores nas bainhas (0,18%). É possível que as folhas ainda estejam funcionando como principal fonte de fotossintatos, visto que as plantas apresentavam-se fisiologicamente jovens no momento da colheita.

Em 2009, houve diferença apenas entre os sistemas de manejo com e sem aléias (Tabela 22). No geral os teores de açúcares solúveis encontrados para as variedades Piauí e IAC-47 foram extremamente baixos (Tabela 22) acompanhando a mesma tendência dos resultados obtidos para N-NH_4^+ e N-NO_3^- nesse ano de cultivo, e o sistema de manejo com aléias no tratamento sombreiro+leucena fez a diferença em relação aos demais tratamentos.

Os maiores teores de açúcar solúvel foram observados na época de enchimento dos grãos, fase de maior demanda metabólica, para todas as variedades nos dois anos de cultivo, sendo que no ano de 2008 os teores foram mais elevados (Figura 30). Nessa fase do desenvolvimento da planta ocorre intensa expansão radicular e demanda uma grande quantidade de energia, a qual provavelmente é advinda principalmente da oxidação de açúcares. Por ocasião da última coleta observou-se em todas as variedades avaliadas uma redução no teor de açúcar, uma vez que, o avanço da maturação promove a conversão de maior parte dos açúcares livres em amido. Souza et al.(1999) observaram que plantas de arroz que receberam duas aplicações de nitrogênio (60 e 90 kg N ha⁻¹) depois da antese tiveram um acúmulo de açúcar solúvel menor ou igual ao controle não adubado e que a redução no teor de açúcar estava associada a um aumento na concentração de aminoácidos livres na folha bandeira, o que poderia indicar uma intensa atividade metabólica com maior consumo de energia para a assimilação do nitrogênio.

Analisando o teor de açúcar solúvel nas folhas e bainhas das variedades de arroz, observou-se que no geral as maiores concentrações de açúcar foram encontradas nas folhas tanto nas variedades locais como nas melhoradas (Figura 31), o que pode ser explicado pelo baixo suprimento de NO_3^- no solo. No ano de 2008 os teores encontrados foram mais elevados e a variedade Bonança apresentou maiores concentrações nos teores de açúcar solúvel em relação à variedade local (Três Meses) apontando para um estoque de carboidratos nessa variedade local que podem ser mobilizados em estádios mais tardios do desenvolvimento, sendo importante, por exemplo, para a produção de proteína do grão (Garrido, 2007).

Entre os sistemas de manejo, houve diferenças significativas entre as variedades apenas no primeiro ano do experimento (2008) e para o tratamento constituído pela combinação da acácia+leucena. No ano de 2009 não foram observadas diferenças significativas (Figuras 32 e 33)

Foram obtidas baixas correlações significativas ($p < 0,05$) entre o percentual de açúcares solúveis e as demais frações de N no primeiro e segundo ano do experimento (Tabela 23). As maiores correlações foram observadas no ano de 2008 com maiores correlações para o N-NH_4^+ , no segundo ano as correlações foram muito baixas mantendo mais elevadas as correlações com o N-NH_4^+ nas folhas.

Nas bainhas observou-se uma relação negativa não significativa entre os teores de açúcares solúveis e os teores de NH_4^+ , indicando um aumento no conteúdo de N-NH_4^+ com conseqüente diminuição no teor de açúcar solúvel provavelmente devido ao decréscimo no conteúdo de nitrato desses tecidos no decorrer do ciclo da cultura e pode também estar relacionado a uma menor remobilização do NO_3^- estocado.

Tabela 21 – Teor de açúcar solúvel nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acacia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
% açúcar solúvel g ⁻¹ de massa fresca												
Folha												
Três Meses*	1,38	5,20	3,07	3,22 Bb	2,59	4,42	3,31	3,44 Aa	2,56	2,66	2,26	2,49 Bc
Bonança**	2,68	5,29	3,31	3,76 Aa	2,62	3,83	3,73	3,39 Ab	2,21	3,21	2,85	2,76 Ac
Média	2,03 c	5,25 a	3,19 b		2,61 c	4,13 a	3,52 b		2,39 b	2,94 a	2,55 b	
Média		3,49 a				3,42 a				2,63 b		
CV (%)	9,267											
Bainha												
Três Meses	1,44	3,70	3,53	2,89 A	2,02	3,56	2,82	2,80 B	2,05	4,12	2,88	3,02 A
Bonança	1,30	4,56	2,33	2,73 B	2,61	4,32	4,00	3,64 A	1,96	4,04	2,97	2,99 B
Média	1,37 c	4,13 a	2,93 b		2,32 c	3,94 a	3,41 b		2,01 c	4,08 a	2,93 b	
Média		2,81 c				3,22 a				3,01 b		
CV (%)	10,525											

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada.

Tabela 22 – Teor de açúcar solúvel nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro + Leucena				Acácia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
% açúcar solúvel g ⁻¹ de massa fresca												
Folha												
Piauí*	1,88	2,21	1,14	1,74 ns	1,52	1,97	1,32	1,60 ns	1,69	1,58	1,42	1,56 ns
IAC-47**	1,76	1,89	1,53	1,73 ns	1,5	1,69	1,11	1,43 ns	1,48	1,78	1,47	1,58 ns
Média	1,82	2,05	1,34		1,51	1,83	1,22		1,59	1,68	1,45	
Média		1,74 a				1,52 b				1,57 b		
CV (%) 19,246												
Bainha												
Piauí	1,52	1,76	1,32	1,53 ns	0,45	1,63	1,46	1,17 ns	0,55	1,64	1,39	1,19 ns
IAC-47	0,47	1,73	1,53	1,24 ns	0,49	1,85	1,52	1,29 ns	0,74	1,66	1,33	1,24 ns
Média	0,99	1,75	1,43		0,47	1,74	1,49		0,65	1,65	1,36	
Média		1,39 a				1,23 b			1,22 b			
CV (%) 22,318												

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúscula iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada.

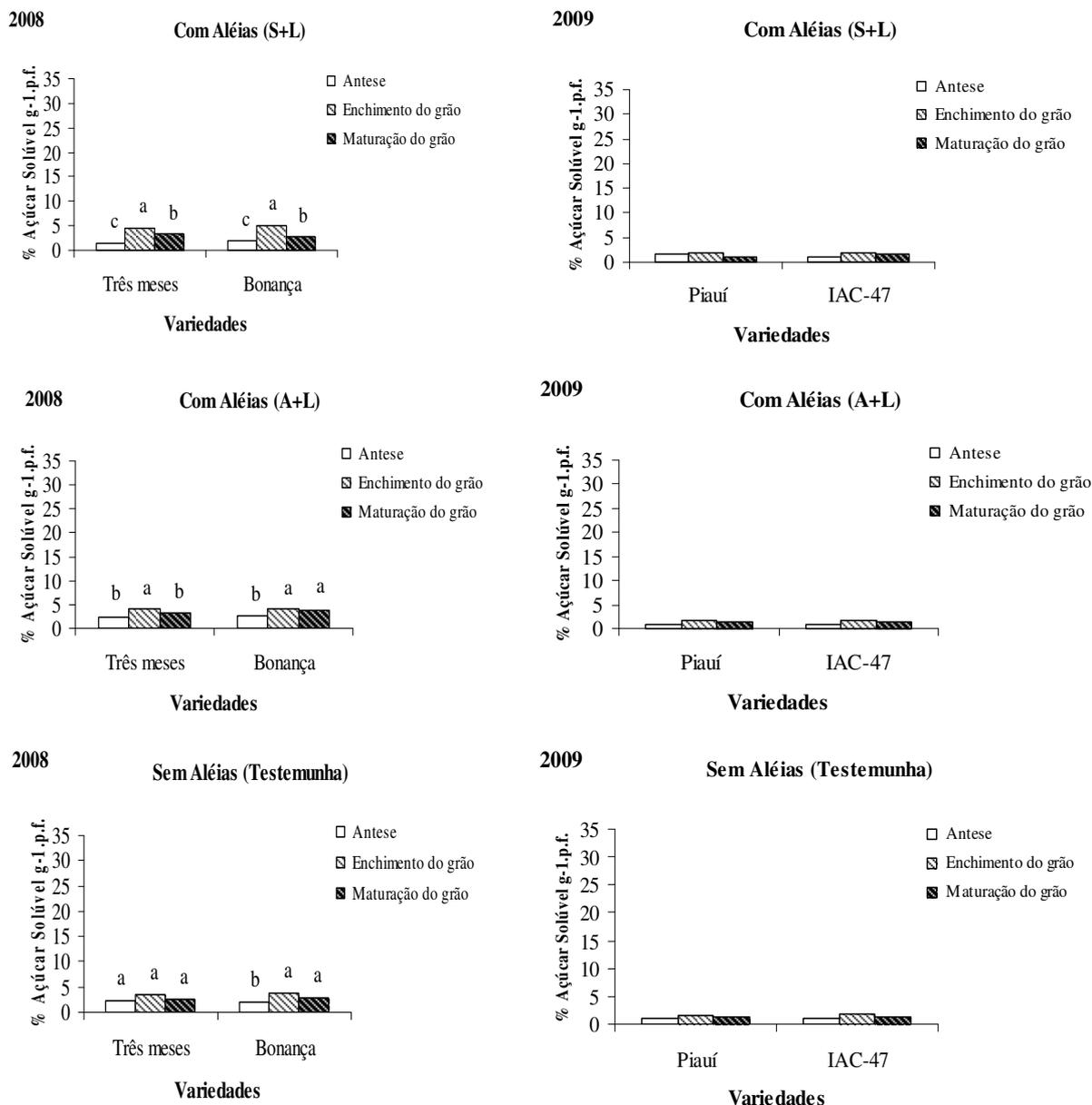


Figura 30 - Teor de açúcar solúvel nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, coletadas em três épocas de amostragem – antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2008. Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

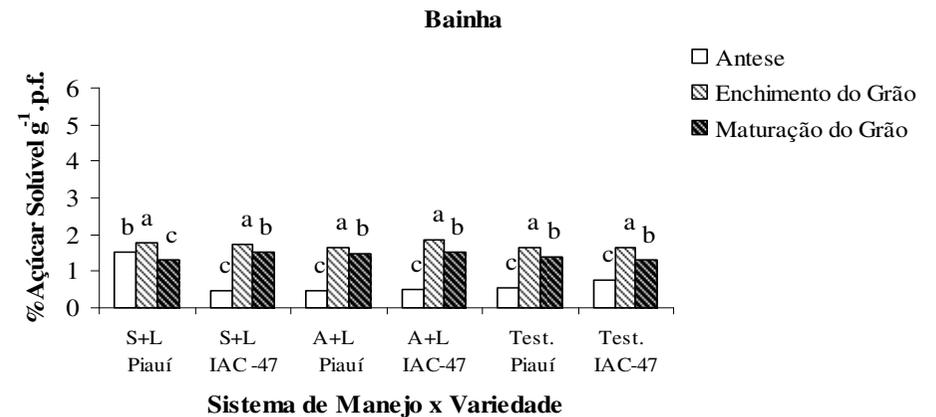
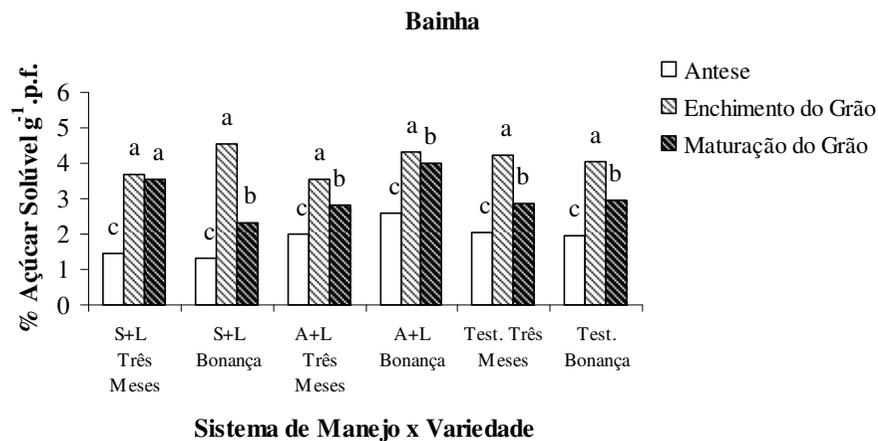
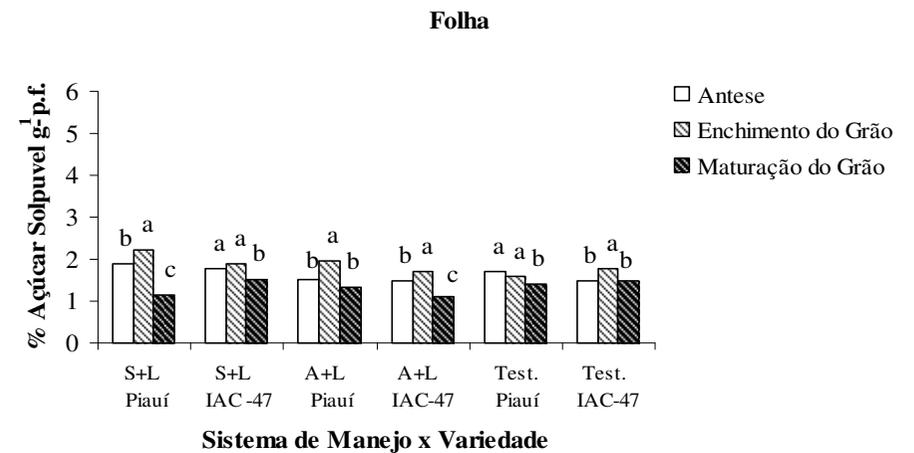
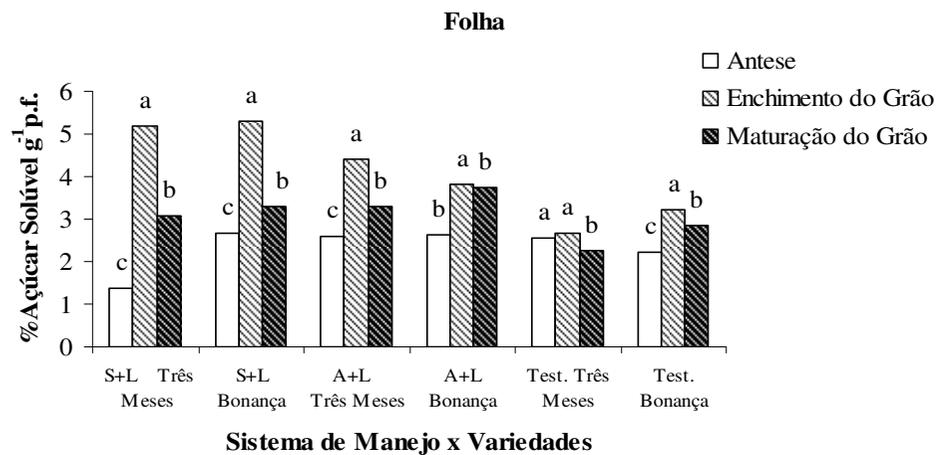


Figura 31 - Teor de Açúcar Solúvel nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, nas coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009 Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Ano 2008

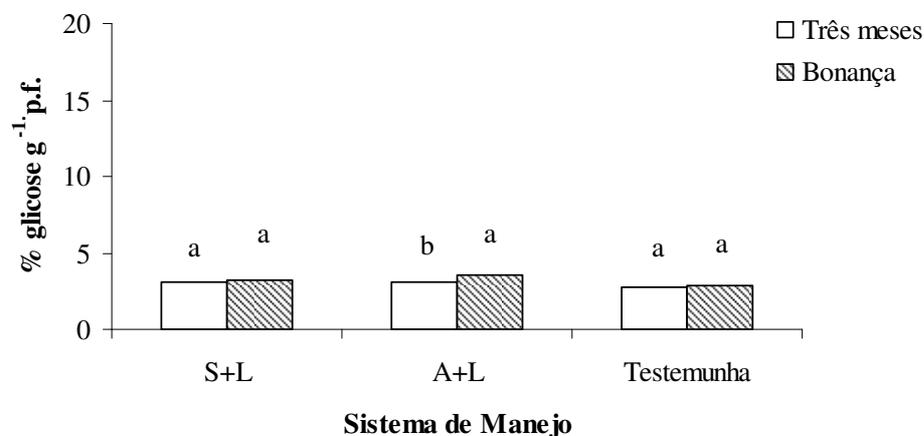


Figura 32 - Teor de açúcar solúvel nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia + Leucena) no ano de 2008. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Ano 2009

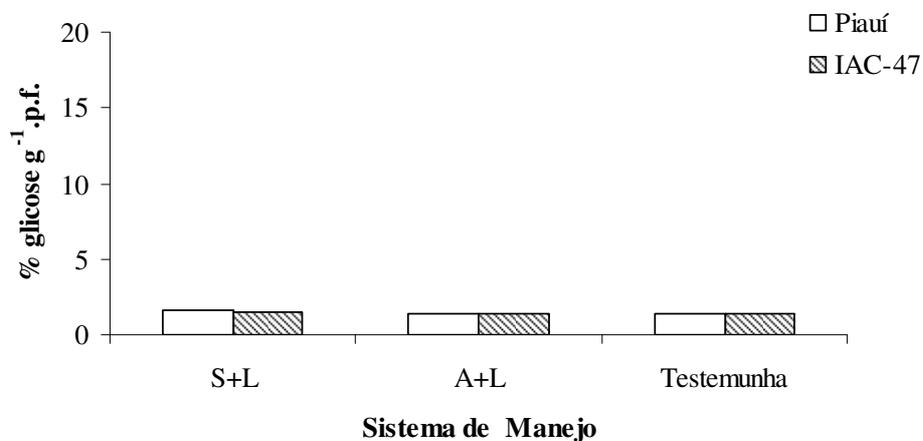


Figura 33 - Teor de açúcar solúvel nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A + L = Acácia + Leucena) no ano de 2008. Letras iguais para variedade dentro o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Tabela 23 – Valores das correlações de Pearson entre os teores de Açúcar solúvel, ANR, teores de amônio, nitrato, e N-aminol, nas folhas e bainhas, das variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, anos de 2008 e 2009.

Interações com Açúcar Solúvel	2008	2009
	r	r
Açúcar solúvel folha x ANR folha	0,62*	0,46*
Açúcar solúvel folha x ANR bainha	0,72*	0,17 ^{ns}
Açúcar solúvel folha x NH ₄ ⁺ folha	0,72*	0,64*
Açúcar solúvel folha x NH ₄ ⁺ bainha	0,71*	0,51*
Açúcar solúvel folha x N-NO ₃ ⁻ folha	0,43*	0,36*
Açúcar solúvel folha x N-NO ₃ ⁻ bainha	0,63*	0,37*
Açúcar solúvel folha x N-amino folha	0,55*	0,34*
Açúcar solúvel folha x Namino bainha	0,61*	0,32*
Açúcar solúvel bainha x ANR folha	0,58*	0,34*
Açúcar solúvel bainha x ANR bainha	0,60*	0,16 ^{ns}
Açúcar solúvel bainha x NH ₄ ⁺ folha	0,69*	-0,08 ^{ns}
Açúcar solúvel bainha x NH ₄ ⁺ bainha	0,78*	-0,12 ^{ns}
Açúcar solúvel bainha x N- NO ₃ ⁻ folha	0,52*	0,46*
Açúcar solúvel bainha x N- NO ₃ ⁻ bainha	0,78*	0,55*
Açúcar solúvel bainha x N-amino folha	0,68*	0,48*
Açúcar solúvel bainha x N-amino bainha	0,69*	0,52*

ANR = Atividade da Nitrato Redutase; NO₃⁻ = Nitrato, NH₄⁺ = Amônio

**Correlação significativa (p<0.01)

*Correlação significativa (p<0,05)

^{ns}Correlação significativa.

e) Teor de N-protéico

Os teores do N-protéico nas folhas e bainhas das variedades de arroz apresentaram diferenças significativas (p<0,05) entre os sistemas de manejo, épocas de amostragem e variedades locais e melhoradas (Tabelas 24 e 25). No ano de 2008, houve diferenças entre os sistemas de manejo, destacando-se o tratamento com acácia+leucena que apresentou os teores mais elevados (Tabela 24). Foram observadas diferenças entre variedades apenas para as folhas, sendo que a variedade melhorada (Bonança) apresentou maior teor que a variedade local (Três Meses) no tratamento com sombreiro+leucena. Na testemunha a variedade local apresentou maior teor de N-protéico e no tratamento com acácia+leucena não houve diferenças entre as variedades. Nas bainhas as principais variações ocorreram entre épocas de amostragem.

No ano de 2009, houve diferença entre os sistemas de manejo e variedades (Tabela 25). Os tratamentos com aléias não diferiram entre si mais foram superiores à testemunha. A variedade Piauí apresentou maior teor de N-protéico que a IAC-47 tanto nos tratamentos com sombreiro+leucena como na testemunha.

Os teores de N-protéico nas folhas foram superiores aos da bainha (Figura 34) e no geral o N-protéico da parte aérea comportou-se de forma semelhante ao N-total conforme será mostrado posteriormente (Tabela 27). No estado inicial de crescimento vegetativo devido à alta atividade fotossintética da planta o teor de N-protéico apresentou-se mais elevado nas folhas, essa alta atividade no período inicial é motivada pela elevada intensidade de síntese protéica e atividade da proteína rubisco durante a formação do embrião e conseqüentemente elevada atividade catabólica. No final do ciclo das plantas devido não ter mais atividade fotossintética, houve uma redução no teor do N-protéico nas plantas de arroz. Nas bainhas

essa redução ocorreu de forma menos brusca, quase sem alteração, pois nessa região há ausência de atividade fotossintética e a ANR é quase zero havendo acúmulo de nitrato confirmando os resultados de Santos (2006).

Os dados mostraram ausência de correlações significativas positivas entre N-protéico nas folhas e bainhas das variedades de arroz estudadas e o teor de proteína bruta e produção de grãos (Tabela 26). Esses resultados contrariam os encontrados por Ferraz Jr. (1993) que obteve correlações positivas entre os teores de N-protéico das folhas bandeiras e segundas folhas e os teores de proteína bruta nos grãos. Segundo esse autor, o N-protéico deve atuar em duas vias: (1) manutenção da área foliar verde necessária a fotossíntese e a geração de energia para a síntese de proteína bruta de reserva (Bhatia & Rabson, 1976; Wuest & Cassman, 1972b), e (2) pode vir a ser o precursor das proteínas de reservas, após a ação das enzimas proteolíticas (Perez et al. , 1993). Portanto quanto maior o teor de N-protéico maior será o teor de proteína bruta dos grãos. Foram encontradas correlações significativas entre o N-protéico e o N-total dos grãos no ano de 2009 (Tabela 26).

Tabela 24 – Teor de N-protéico nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acacia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
	mg.g ⁻¹ de massa fresca											
	Folha											
Três Meses*	21,28	20,32	14,94	18,85 Bb	26,20	20,22	17,99	21,47 Aa	17,59	16,25	15,93	16,59 Ac
Bonança**	23,26	22,78	21,57	22,54 Aa	24,97	22,69	21,07	22,91 Aa	18,73	12,61	9,66	13,67 Ba
Média	22,27	21,55	18,26		25,58	21,46 ns	19,53		18,16	14,43	12,79	
Média		20,69 b				22,19 a				15,13 c		
CV (%)	12,878											
	Bainha											
Três Meses	11,22	6,47	3,23	6,97	16,90	9,38	7,58	11,29	10,39	7,16	5,89	7,81
Bonança	12,62	8,58	8,07	9,76	19,36	9,36	8,27	12,33	15,66	8,26	7,86	10,59
Média	11,92 a	7,53 b	5,65 c		18,13 a	9,37 b	7,93 c		13,03 a	7,71 b	6,87 b	
Média		8,37 c				11,81 a			9,20 b			
CV (%)	15,112											

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada.

Tabela 25 – Teor de N-protéico nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) em sistema de cultivo em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acácia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
mg g ⁻¹ de massa fresca												
Folha												
Piauí*	29,96	24,24	23,84	26,01 Aa	25,70	20,36	18,33	21,46 Bb	22,47	21,70	19,91	21,36 Ab
IAC-47**	26,64	23,72	22,49	24,28 Bb	32,10	27,82	21,30	27,07 Aa	19,27	15,60	14,64	16,50 Bc
Média	28,30	23,98	23,16		28,90	24,09	19,81		20,87	18,65	17,27	
Média		25,15 a				24,27 a				18,43 b		
CV (%)	9,894											
Bainha												
Piauí	11,09	7,48	4,77	7,78	11,83	9,95	9,26	10,35	11,26	6,44	4,36	7,35
IAC-47	12,86	9,32	7,84	10,01	11,24	9,09	8,84	9,72	9,65	6,71	5,84	7,40
Média	11,98	8,40	6,31		11,54	9,52	9,05		10,46	6,57	5,10	
Média		8,90				10,04				7,38		
CV (%)	22,31											

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúscula iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada.

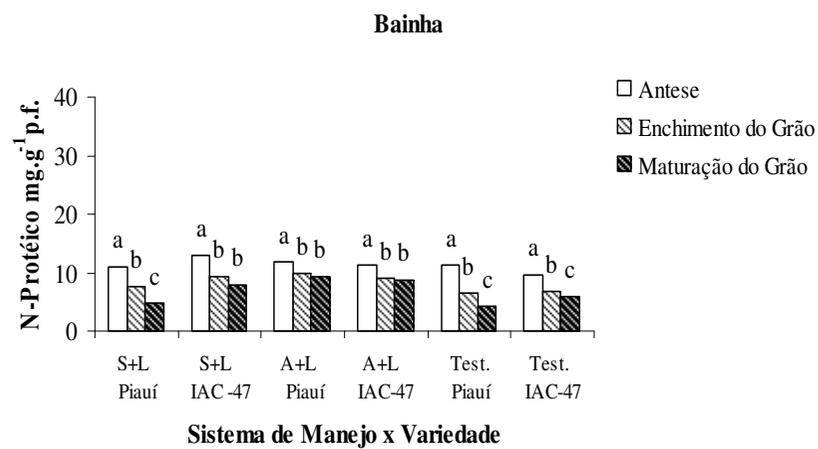
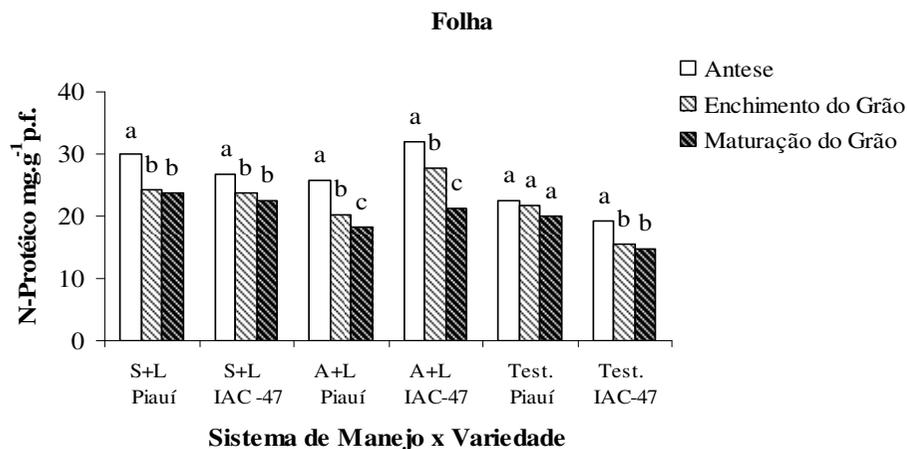
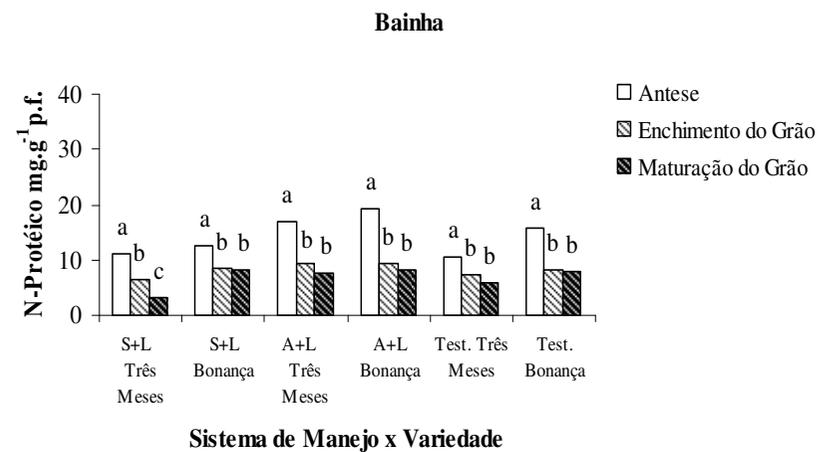
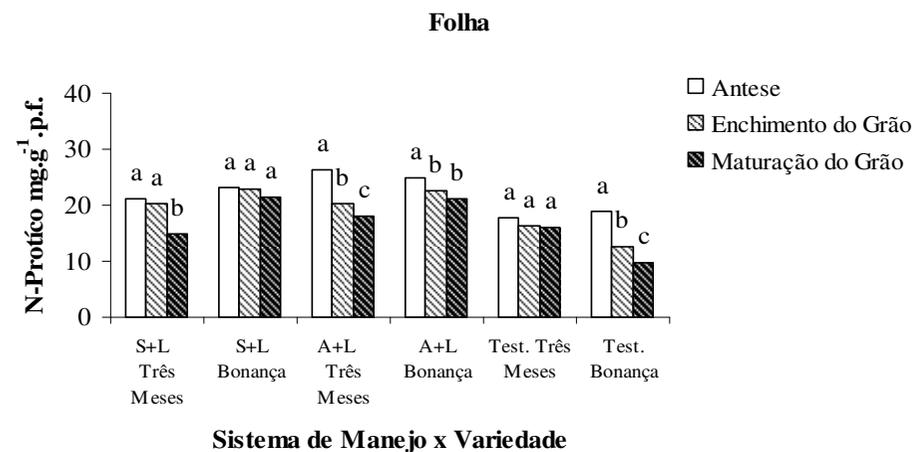


Figura 34 - Teor de N-protéico nas folhas e bainhas das plantas de arroz das variedades Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena e A+L = Acácia +Leucena), no município de São Luis – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009 Letras iguais para mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Tabela 26 – Valores das correlações de Pearson entre o teor de N-protéico, teor de proteína bruta e produção de grãos nas folhas e bainhas de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009.

Interações com N-protéico	2008	2009
	r	r
N-protéico folha x Proteína Bruta	0,03 ^{ns}	0,30 ^{ns}
N-protéico bainha x Proteína Bruta	0,31 ^{ns}	0,55 ^{ns}
N-protéico folha x Produção de grãos	0,56 ^{ns}	0,18 ^{ns}
N-protéico bainha x Produção de grão	0,27 ^{ns}	0,44 ^{ns}
N-protéico folha x N-total do grão	0,03 ^{ns}	0,89*
N-protéico folha x N-total do grão	0,31 ^{ns}	0,43 ^{ns}

**Correlação significativa (p<0,01)

*Correlação significativa (p<0,05)

^{ns}Correlação significativa.

f) Nitrogênio total

Os teores de N-Total da parte aérea (folha + bainha) e grãos das variedades de arroz diferiram significativamente (p<0,05) entre as épocas de amostragem, variedades e sistemas de manejo nos dois anos de cultivo (Tabela 27). De maneira geral, os teores de N-total da parte aérea das variedades locais e melhoradas nos dois anos de cultivo (2008 e 2009) reduziram ao longo do crescimento das plantas (Figuras 35 e 36). A quantidade de nitrogênio absorvida variou durante o ciclo de desenvolvimento das plantas de arroz, verificando-se que, durante o crescimento e desenvolvimento da cultura, a extração de nitrogênio não se faz nas mesmas quantidades durante as suas diferentes etapas do seu ciclo de produção.

Verificou-se um aumento progressivo no teor de N-total da parte aérea durante o período de crescimento vegetativo, atingindo o máximo durante o início do estágio reprodutivo (antese) com queda na fase de enchimento dos grãos e na maturação. O que evidencia a exportação do N para outras partes da planta, preferencialmente os grãos (drenos preferenciais de N) e órgãos jovens que apresentam alta atividade metabólica (Tabela 27).

Estudos realizados com a cultura do arroz indicam que a partir do perfilhamento até o florescimento, cerca de 82% do N-total é absorvido, a partir daí, a absorção começa a mostrar tendência assintótica. Esta resposta está de acordo com os relatos de Malavolta (1978), Wada et al. (1986) e Fornasieri Filho & Fornasieri (1993), tendo estes últimos autores verificado que até o florescimento a planta já absorveu mais de 75% do N-total. Até essa fase, o nitrogênio absorvido pela planta é armazenado nas folhas, sendo depois drenado aos grãos em proporção de até 50% do total armazenado na planta. A absorção da outra metade ocorre depois do florescimento (Perdomo et al., 1985; Arima, 1995).

As parcelas com aléias promoveram uma elevação no conteúdo desse nutriente nos tecidos da parte aérea das variedades em relação à testemunha e que, em parte, pode ser atribuída à disponibilidade de N pela adição dos ramos das leguminosas por ocasião dos cortes, aliada a disponibilidade de N no solo, porém, fatores intrínsecos a cada variedade têm papel relevante nesse processo.

O maior acúmulo de N-Total na parte aérea das plantas de arroz foi observado para o tratamento com aléias provenientes das parcelas com acácia+leucena nos dois anos do experimento. No experimento avaliado no ano de 2008, houve diferença entre as variedades sendo que a variedade Bonança (melhorada) mostrou-se superior a Três Meses (local), exceto na testemunha que ocorreu o inverso (Tabela 27). No ano de 2009, a análise dos teores de N-

Total não mostrou diferenças significativas entre as variedades Piauí e IAC-47, sendo que a variedade IAC-47(melhorada) apresentou maiores teores que a Piauí, exceto nos tratamentos provenientes das parcelas com sombreiro+leucena onde a Piauí manteve teores mais elevados (Tabela 28).

Os maiores teores de N-Total na parte aérea das variedades Bonança e IAC-47 provavelmente foram devido aos maiores teores de N-amino livre e de N-protéico enquanto que os teores de açúcar solúvel foram praticamente iguais nas quatro variedades avaliadas anualmente.

Na maturidade foram observadas diferenças significativas entre as variedades e também entre os sistemas de manejo (Tabela 28). O acúmulo de N na parte aérea foi maior nas variedades Bonança e IAC-47 enquanto nos grãos as variedades Três Meses e Piauí acumularam mais N. Essas diferenças no teor de N da parte aérea entre as variedades ocorrem devido às diferenças nas eficiências de absorção ou de utilização do N absorvido (Deckard et al., 1984).

Entre os sistemas de manejo verificou-se que nos dois anos de cultivo nas plantas provenientes das parcelas com acácia+leucena os teores de N acumulados foram mais elevados tanto na parte aérea (folha+bainha) como nos grãos, seguido das parcelas com sombreiro+leucena e da testemunha. Exceto no ano de 2009, onde na parte aérea as parcelas formadas por sombreiro+leucena apresentaram maiores acúmulos de N.

De acordo com os resultados obtidos, na maturidade os teores de N na parte aérea foram superiores ao teor encontrado nos grãos. Esses dados sugerem que a contribuição do N das leguminosas em aléias juntamente com o N fornecido pela adubação química não foram eficientes para promover a translocação do N da parte vegetativa para os grãos, embora os teores de Proteína Bruta e o N-total do grão tenham sido aumentados de forma significativa para as variedades estudadas.

Não foram feitas correlações entre os teores de N da parte aérea e o teor de N do grão na maturidade, contudo obtiveram-se correlações positivas altamente significativas entre o teor de N no grão e o teor de proteína bruta nos grãos ($r = 1,00$) nos dois anos do experimento e baixas correlações positivas entre a produção de grãos ($r = 0,42$ e $r = 0,27$ para o ano de 2008 e 2009 respectivamente).

Os conteúdos de N na parte aérea foram mais altos que nos grãos para as quatro variedades e em todos os tratamentos, sendo que as parcelas com aléias apresentaram conteúdos de N no grão mais elevados que a testemunha tanto em 2008 quanto em 2009 (Figuras 37 e 38). Segundo Osaki et al.,(1992) a maior parte da variação do conteúdo de N das variedades de arroz são devidas a diferenças na produção de matéria seca. O aumento no conteúdo de N dos grãos é devido ao aumento do teor de proteína bruta e a produção de grãos. As variedades que apresentaram maior produtividade terão maior conteúdo de N nos grãos. Desta forma, o conteúdo de N do grão está diretamente associado à produção de grãos e inversamente relacionado com a proteína bruta. No presente estudo, os valores mais elevados de proteínas bruta dos grãos estão mais associados à baixa produção de grãos do que a eficiência de translocação de N da parte vegetativa para os grãos, uma vez que as variedades não diferiram entre si.

Tabela 27 – Teor de N-total da parte aérea (Folha+bainha) em variedades locais e melhoradas de arroz, cultivadas com e sem em aléias, no município de São Luis – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) nos anos de 2008 e 2009.

Variedades	Sistema de Manejo											
	Sombreiro +Leucena				Acacia + Leucena				Testemunha			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
mg g ⁻¹ de massa fresca												
Ano 2008												
Três Meses*	39,97	28,87	28,17	32,34 Bb	37,76	36,09	33,79	35,88 Ba	38,07	36,57	24,24	32,96 Ab
Bonança**	47,84	29,75	28,82	35,47 Ab	50,07	44,30	39,52	44,63 Aa	33,40	29,22	23,61	28,74 Bc
Média	43,91 a	29,31 b	28,50 b		43,92 a	40,20 b	36,66 c		35,74 a	32,89 b	23,94 c	
Média		33,91 b				40,26 a					30,86 c	
CV (%)	11,222											
Ano 2009												
Piauí*	54,00	36,09	29,93	40,01	65,04	48,61	29,79	32,79	48,36	42,89	21,47	37,57
IAC-47**	56,48	30,90	28,52	38,63	60,86	42,47	25,73	43,02	58,58	35,14	20,58	38,10
Média	55,24 a	33,49 b	29,22 c		62,92 a	45,54 b	27,76 c		53,47 a	39,02 b	21,02 c	
Média		39,32 b				45,41 a				37,84 b		
CV (%)	12,056											

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada.

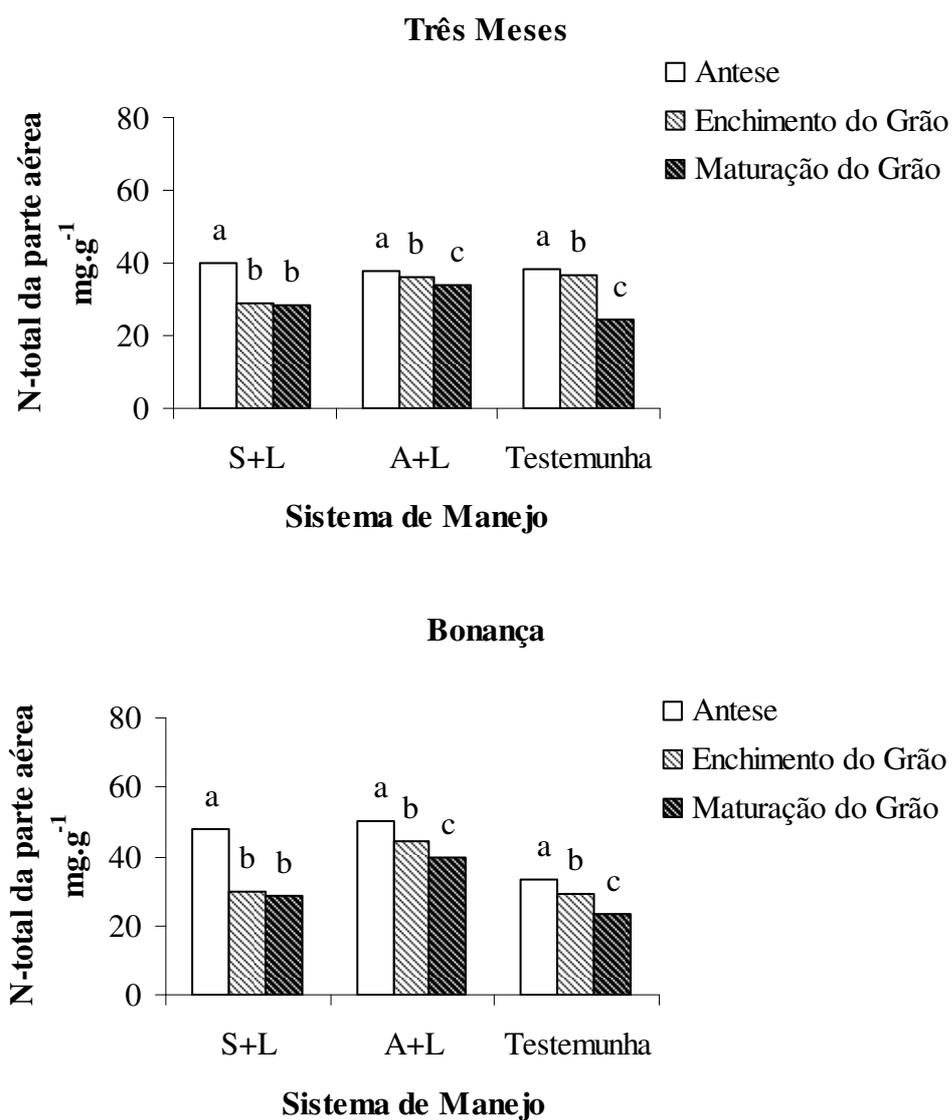


Figura 35 - N-Total da parte aérea (folha +bainha) das variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em sistemas de manejo com e sem aléias (S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis - MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2008. Letras iguais para a mesma época de amostragem dentro de cada sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS 5% de probabilidade.

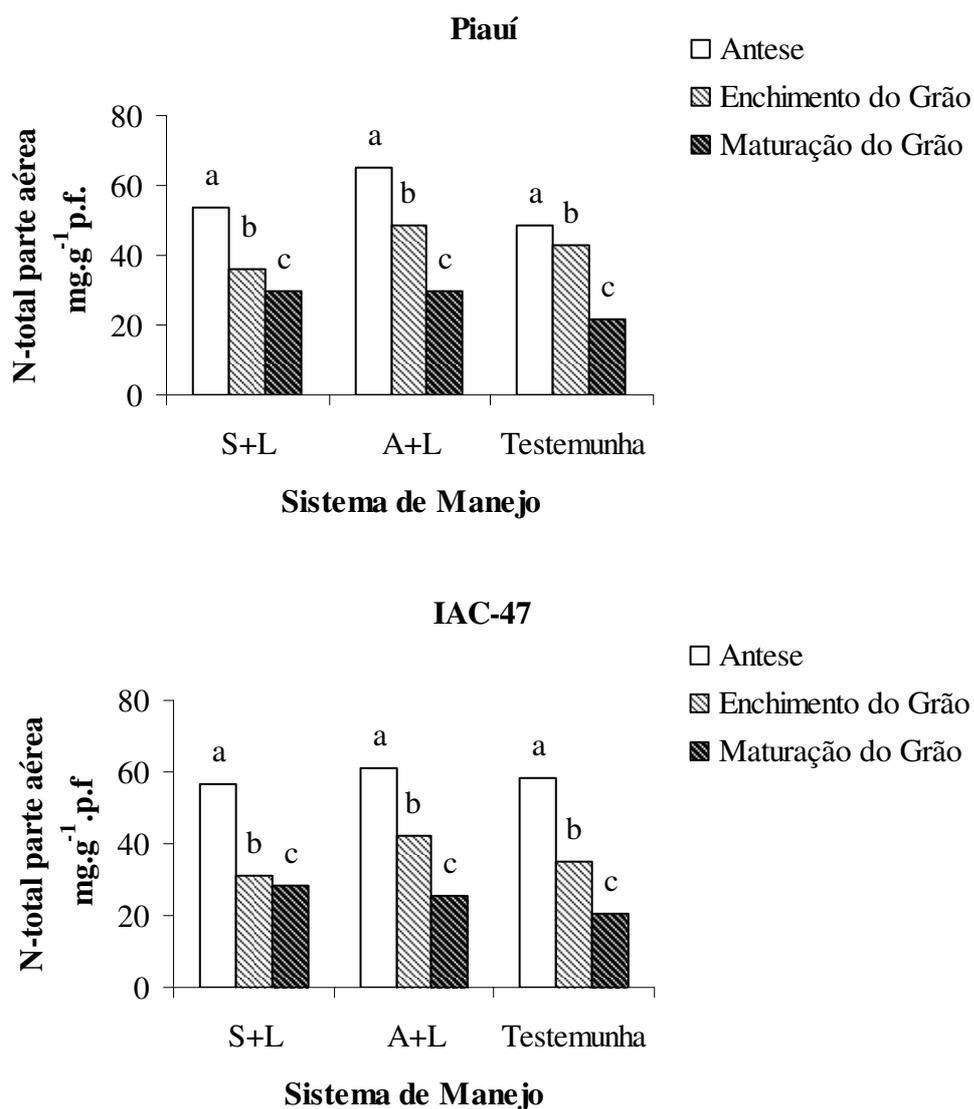


Figura 36 - N-Total da parte aérea (folha +bainha) das variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em sistemas de manejo com e sem aléias(S+L = Sombreiro + Leucena; A+L = Acácia + Leucena) no município de São Luis - MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem dentro de cada sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS 5% de probabilidade.

Tabela 28 – Teor de N-total da parte aérea na maturidade de variedades locais e melhoradas de arroz, cultivadas com e sem aléias, no município de São Luis – MA, nos anos de 2008 e 2009.

N-total da parte aérea (mg/g de planta)						
Sistema de Manejo	Folha + Bainha			Grãos		
	Três Meses*	Bonança**	Média	Três Meses*	Bonança**	Média
mg.g ⁻¹ planta						
Ano 2008						
Sombreiro + Leucena	28,17	28,82	28,49 B	17,19	14,03	15,61 B
Acácia + Leucena	33,79	39,52	36,65 A	18,64	17,14	17,89 A
Testemunha	24,24	23,61	23,92 C	14,33	13,24	13,78 C
Média	28,73 b	30,65 a		16,72 a	14,80 b	
Ano 2009						
	Piauí*	IAC-47**	Média	Piauí*	IAC-47	Média
Sombreiro + Leucena	29,93	28,52	29,22 A	21,77	17,06**	19,41 A
Acácia + Leucena	29,79	25,75	27,77 B	21,67	15,93	18,80 A
Testemunha	21,47	20,58	21,05 C	17,32	11,89	14,61 B
Média	27,06 a	24,95 b		20,25 a	14,96 b	

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local; **Variedade melhorada.

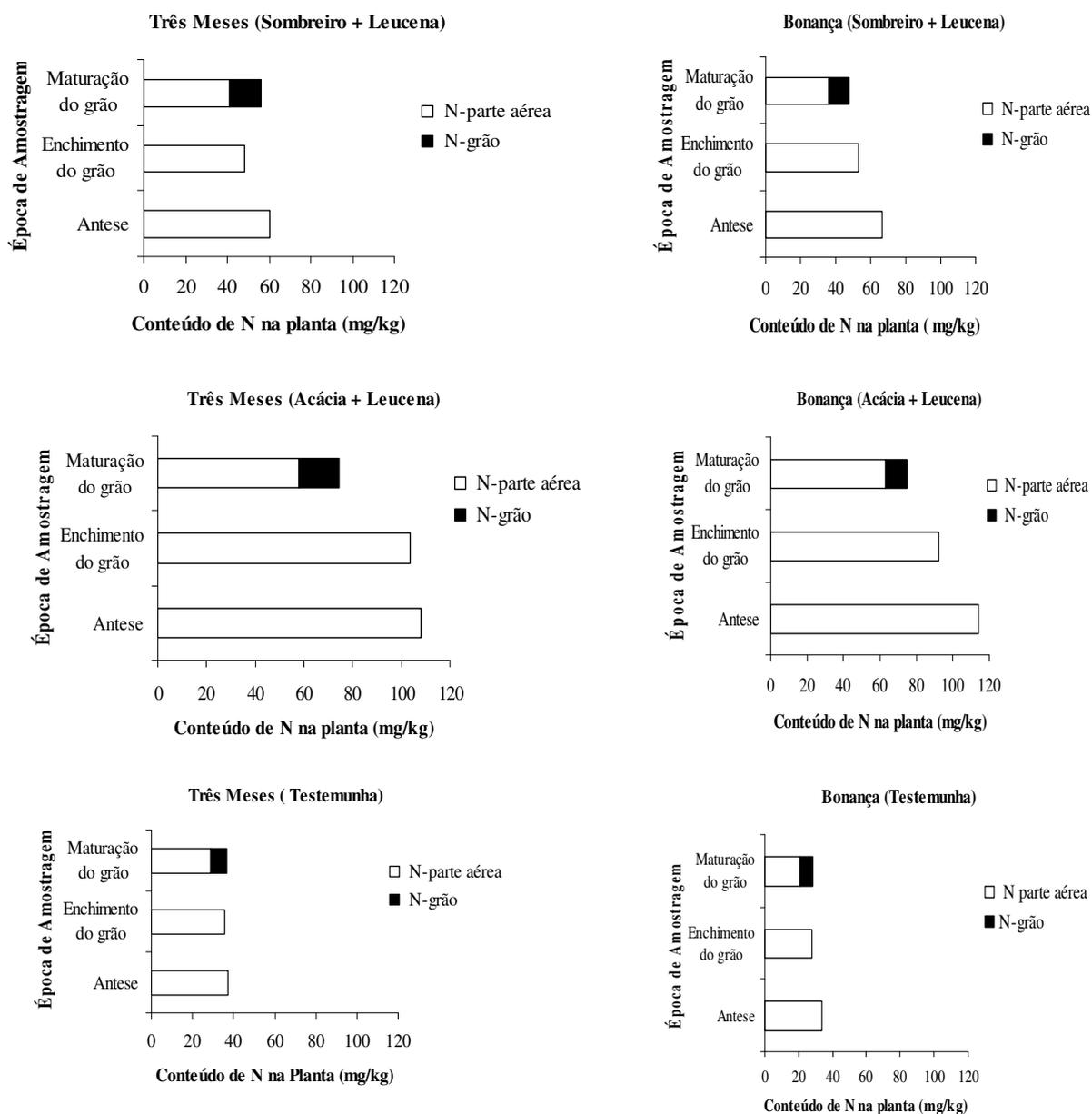


Figura 37 - Conteúdo de N na parte aérea (folha+bainha e grãos) nas variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis- MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos), no ano de 2008.

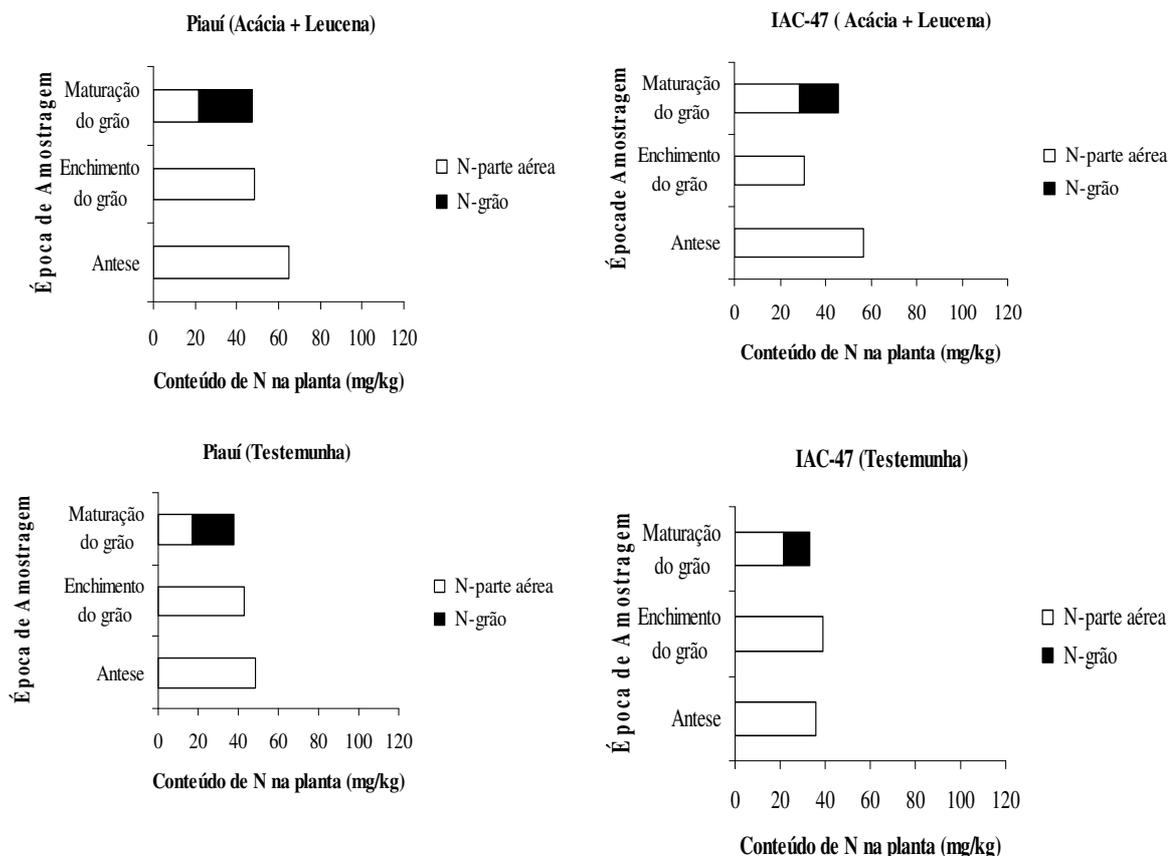


Figura 38 - Conteúdo de N na parte aérea (folha+bainha e grãos) nas variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis-MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2009.

3.5.6. Parâmetros relacionados à produtividade

a) Produção de grãos

Para a produção de grãos os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre as variedades de arroz estudadas em função do sistema de manejo (Tabela 29). No primeiro ano do experimento os valores de produção obtidos foram baixos variando entre 503,42 kg.ha⁻¹ (Bonança) a 817,38 kg. ha⁻¹ (Três Meses), sendo que entre os tratamentos a maior produtividade foi obtida para Acácia+Leucena (725,50 kg ha⁻¹). No ano de 2009 a produtividade manteve-se baixa, porém atingindo valores maiores que o ano anterior sendo observadas diferenças significativas entre os sistemas de manejo (Tabela 29). As médias variaram entre 521,40 kg.ha⁻¹(Piauí) a 1.013,74 kg.ha⁻¹(IAC-47), e os tratamentos em aléias diferiram da testemunha (sem adição de leguminosas).

Assim como no ano anterior o tratamento com acácia+leucena apresentou maior média em relação aos demais tratamentos (966,14 kg.ha⁻¹). Na testemunha (sem aléias), obteve-se a menor produtividade de grãos, evidenciando que o solo mesmo recebendo adubação química não foi capaz de disponibilizar nutrientes suficientes para o arroz e, portanto afetou negativamente a produtividade.

Nos dois anos do experimento os tratamentos com aléias apresentaram valores superiores a testemunha, evidenciando o efeito positivo da fitomassa adicionada, que

mineralizada forneceu nutriente, indicando que a produtividade do arroz embora baixa, foi beneficiada pelo consórcio da acácia e do sombreiro com a leucena.

Com relação às variedades, apesar de não diferirem estatisticamente, nos dois anos do experimento as variedades melhoradas Bonança e IAC-47 superaram as variedades tradicionais Três Meses e Piauí.

A produção de grãos teve baixas correlações positivas com os a proteína bruta ($r = 0,43$ e $r = 0,27$ para 2008 e 2009 respectivamente) e peso de 1000 grãos ($r = 0,49$ e $r = 0,39$), demonstrando que a acumulação de N nos grãos está associada ao rendimento.

Vale ressaltar que durante os dois anos do experimento houve uma concentração das chuvas durante os meses do período experimental (janeiro a maio), não ocorrendo déficits hídricos principalmente no segundo ano (Figuras 2 e 3). As maiores concentrações de chuvas foram observadas no final do período reprodutivo coincidindo justamente com o período de formação dos grãos. Esses excedentes hídricos prolongados podem ter contribuído para o baixo rendimento obtido afetando principalmente a translocação de N para a formação de grãos.

Tabela 29 – Produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de grãos de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em sistema de aléias, em dois anos consecutivos (2008 e 2009) no município de São Luis – MA.

Tratamentos	Produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)					
	2008			2009		
	Tês Meses*	Bonança**	Média	Piauí*	IAC-47**	Média
Sombreiro + leucena	597,33	718,00	657,67 ns	898,96 Aa	853,30 Ba	876,13 A
Acácia + leucena	817,38	633,62	725,50 ns	918,55 Aa	1.013,74 Aa	966,14 A
Testemunha	586,55	503,42	544,98 ns	521,40 Ba	622,96 Ba	572,18 B
CV(%)		17,68			12,34	

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na linha e letras iguais maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS ao nível de 5% de probabilidade

* Variedades locais, **Variedades melhoradas.

b) Peso seco de panículas e grãos, peso de 1000 grãos e proteína bruta

A análise de variância não identificou diferenças entre as variedades de arroz para grande maioria das características avaliadas na maturação dos grãos. Não houve diferença entre variedades e sistemas de manejo para o peso seco de panículas e peso seco de grãos no ano de 2008 (Tabela 30). No geral a variedade Três Meses apresentou valores maiores para esses parâmetros. Entre os sistemas de manejo os tratamentos com aléias foram superiores à testemunha. Houve efeito dos sistemas de manejo para o peso de 1000 grãos, sendo que os tratamentos em aléias diferiram da testemunha demonstrando o efeito da fitomassa das leguminosas sobre a massa dos grãos. No primeiro ano de cultivo observou-se maior média da massa de 1000 grãos para as parcelas com sombreiro+leucena, e a variedade Bonança apresentou maior massa de grão em relação à variedade Três Meses (Tabela 30).

No ano de 2009, houve diferença entre os sistemas de manejo para peso seco de panícula, peso seco de grão, peso de 1000 grãos e proteína bruta do grão (Tabela 30), e assim como no ano anterior os tratamentos em aléias superaram a testemunha sendo que aqueles com acácia+leucena foram superiores aos demais tratamentos. Com relação ao peso de 1000 grãos os tratamentos com aléias compostos pela combinação de acácia+leucena e sombreiro+leucena afetaram pouco a massa de 1000 grãos, mas, ainda assim, foram superiores a testemunha. Entre variedades não foram observadas diferenças significativas e a variedade IAC-47 apresentou maiores pesos de panículas, pesos de grão e peso de 1000 grão quando comparada a variedade Piauí. Com relação à proteína bruta dos grãos os maiores teores foram observados para a variedade Piauí.

A massa de 1.000 grãos foi maior para as variedades Bonança e IAC-47 em relação às variedades Três Meses e Piauí (Tabela 30). O resultado tem suporte no tipo de grão das variedades. As melhoradas Bonança e IAC-47 possuem grãos longos e as tradicionais Três Meses e Piauí, grãos curtos e mais arredondados. A massa do grão é um caráter varietal estável, que depende do tamanho da casca, determinado durante as duas semanas que antecedem a antese, e do desenvolvimento da cariopse após o florescimento, portanto depende da translocação de carboidratos nos primeiros sete dias, para preencher o fruto no sentido de seu comprimento, e nos sete dias posteriores, na largura e espessura (Machado, 1994). Esse componente é pouco influenciado por fatores de ordem climática e nutricional.

Para proteína Bruta foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os sistemas de manejo, com valores mais expressivos para os tratamentos com Acácia+leucena. As variedades não diferiram estatisticamente quanto ao teor de proteína bruta dos grãos (Tabela 30). No entanto, observou-se maiores percentagens para as variedades tradicionais (Três Meses e Piauí). Os maiores aumentos no teor de proteína bruta foram observados para os tratamentos provenientes das parcelas com aléias, sempre superiores à testemunha.

Tabela 30 - Valores médios de peso fresco e seco de panícula, peso seco de grãos e peso de 1000 grãos de variedades locais e melhoradas de arroz, cultivadas em sistema de cultivo em aléias no município de São Luis – MA, em dois anos consecutivos (2008 e 2009).

Tratamentos	Variedades de Arroz					
	2008			2009		
	Três Meses*	Bonança*	Média	Piauí*	IAC-47**	Média
Peso seco de panícula (g/planta)						
Sombreiro + leucena	135,37	156,67	146,02 ns	187,10	187,19	187,14 A
Acácia + leucena	185,73	147,09	166,41 ns	197,72	213,64	200,68 A
Testemunha	128,26	114,07	121,16 ns	114,32	108,10	111,21 B
CV(%)		15,34			11,72	
Peso seco de grãos (kg/planta)						
Sombreiro + leucena	119,47	143,60	131,54 ns	179,79	170,66	174,73 B
Acácia + leucena	163,48	126,72	145,10 ns	183,71	202,75	193,23 A
Testemunha	117,31	100,68	108,99 ns	104,28	124,59	114,44 C
CV(%)		17,40			18,38	
Peso de 1000 grãos (g/planta)						
Sombreiro + leucena	25,33	28,17	26,75 A	28,68	30,08	29,38 A
Acácia + leucena	26,33	25,47	25,90 A	29,73	30,98	30,36 A
Testemunha	20,43	22,87	21,65 B	27,00	25,38	26,19 B
CV(%)		10,46			10,76	
Proteína Bruta do Grão (%)						
Sombreiro + leucena	10,23	8,35	9,29 B	12,95	10,15	11,55 A
Acácia + leucena	11,09	10,20	10,64 A	12,90	9,48	11,19 A
Testemunha	8,53	7,88	8,21 C	10,31	7,07	8,69 B
CV(%)		5,94			19,77	

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na linha e letras iguais maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS ao nível de 5% de probabilidade; * Variedades locais, **Variedades melhoradas.

O teor de proteína bruta dos grãos é um parâmetro nutricional que deve ser levado em consideração pelo fato do arroz ser a base alimentar das pessoas de muitos países. A produção de grão e a proteína bruta são parâmetros que apresentam geralmente relação negativa nesse caso com o aumento da proteína bruta do grão ocorre redução no peso do grão. O aumento da proteína bruta do arroz é acompanhado por aumento na qualidade protéica do grão (Souza,

1998) e, portanto pode ser utilizada para avaliação do valor nutritivo da proteína do grão, sem que se faça necessário o fracionamento da proteína, que requer um procedimento mais trabalhoso e demorado.

Contrariando essa hipótese, observaram-se nesse estudo correlações positivas não significativas entre a produção de grãos e o teor de proteína bruta tanto no primeiro como no segundo ano do experimento já mencionado anteriormente. Diversos trabalhos têm confirmado que a principal contribuição para o aumento da proteína bruta dos grãos de cereais foi sempre proporcionada pela fração protéica de reserva predominante, que no arroz é a glutelina, enquanto que em outros cereais como o milho e a cevada é a Prolamina (Turley & Ching, 1986; Souza et al, 1993; Bulman et al., 1994, Souza, 1998).

3.5.7. Índice de colheita de grão (ICG)

Não houve diferença significativa entre as variedades e sistemas de manejo para o índice de colheita de grão (ICG) nos dois anos de avaliação dos experimentos e os valores obtidos foram muito semelhantes entre as variedades com pequenas variações (Tabela 31).

Os resultados demonstram que o ICG foi maior nas variedades melhoradas Bonança e IAC-47, e nas parcelas com sistema de manejo com aléias em comparação à testemunha. Esta diferença está associada diretamente, ao rendimento de grãos mais elevados, ao aumento da matéria seca da parte aérea e com a maior acumulação de N na parte aérea dessas variedades. De acordo com Kramer (1979), citado por Ferraz Jr. (1993) quanto maior o ICG, menor a fonte de suprimento de N (palha) para o grão ou ainda, maior o número de drenos (grãos) e consequentemente menor teor de PB dos grãos.

De acordo com os resultados obtidos podemos sugerir que o sistema de manejo em aléias não afetou o ICG, porque as produções de grãos não foram influenciadas de forma significativa tanto no ano de 2008 como em 2009. Assim nas condições em que a pesquisa foi desenvolvida, as variedades de arroz apresentaram baixa eficiência em translocar nitrogênio da parte vegetativa para os grãos.

3.5.8. Índice de colheita de nitrogênio (ICN)

Não foram observadas diferenças significativas entre as variedades de arroz quanto ao índice de colheita de nitrogênio (ICN) nos dois anos de cultivo (Tabela 31). As variedades locais apresentaram ICN mais elevados que as variedades melhoradas sem grandes variações entre as mesmas. Entre o sistema de manejo somente no primeiro ano foram observadas diferenças estatísticas, sendo que o tratamento com acácia+leucena diferiu dos demais, em 2009 os tratamentos em aléias não diferiram da testemunha.

3.5.9. Razão ICN/ICG

Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) para a razão ICN/ICG entre variedades e sistema de manejo (Tabela 31). Entre os sistemas de manejo observaram-se diferenças entre os tratamentos com e sem aléias somente do ano de 2008. No ano de 2009, as variedades IAC-47 e Piauí diferiram entre si, sendo que a variedade IAC-47 apresentou menor razão, devido provavelmente ao maior ICG.

A amplitude de variação dos índices de colheita de N (ICN) e dos índices de colheita de grãos (ICG) foi muito similar entre as variedades avaliadas com maiores alterações no primeiro ano de cultivo. Os valores obtidos foram elevados variando de 0,48 a 1,10, segundo Ferraz Jr.(1993), altos teores da razão ICN/ICG são devido à redução na produção dos grãos ou dos ICG. No presente estudo os maiores valores foram obtidos para a testemunha que apresentou menor produção.

Tabela 31 – Índice de colheita de grão, Índice de colheita de N e relação ICG/ICN de variedades locais e melhoradas de arroz, cultivadas em sistema de manejo com e sem aléias no município de São Luis-MA, nos anos de 2008 e 2009.

Sistema de Manejo	Índices								
	ICG			ICN			ICN/ICN		
	Ano 2008								
	Três Meses*	Bonança**	Média	Três Meses	Bonança	Média	Três Meses	Bonança	Média
Sombreiro + Leucena	0,23	0,25	0,24 A	0,20	0,16	0,18 A	0,81	0,68	0,75 AB
Acácia + Leucena	0,24	0,25	0,25 A	0,11	0,11	0,11 B	0,51	0,44	0,48 B
Testemunha	0,21	0,23	0,22 A	0,22	0,23	0,22 A	1,10	1,10	1,10 A
CV%									
	Ano 2009								
	Piauí*	IAC-47**	Média	Piauí	IAC-47	Média	Piauí	IAC-47	Média
Sombreiro + Leucena	0,20	0,26	0,23 A	0,20	0,13	0,17 A	0,78	0,65	0,72 A
Acácia + Leucena	0,18	0,20	0,19 A	0,15	0,12	0,14 A	0,80	0,68	0,74 A
Testemunha	0,24	0,20	0,22 A	0,17	0,15	0,16 A	0,85	0,65	0,75 A
CV%									

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

* Variedades locais, **Variedades melhoradas.

3.5.10. Nitrato e amônio no solo

Os teores de nitrato e amônio encontrados no solo no final da estação seca e início da estação chuvosa mostraram que houve diferença significativa ($p < 0,05$) para esses ions entre os sistemas de manejo com e sem aléias; profundidade do solo e as épocas de coleta durante os dois anos em que foram avaliados (Figuras 39 a 41).

A concentração de nitrato e amônio na solução do solo foi variável em função da época e da profundidade de coleta. Os efeitos da sazonalidade tanto para o amônio quanto para o nitrato foram observados para todos os sistemas evidenciando a possibilidade de ascensão capilar do nitrato lixiviado, porém, os valores obtidos foram baixos e não mostraram picos elevados de nitrato na superfície. Isso pode ser atribuído ao baixo rendimento de fitomassa resultando em um menor conteúdo de nitrogênio no solo no período em que as amostras foram coletadas.

Os valores de amônio e nitrato foram significativamente ($p < 0,05$) maiores no início da estação chuvosa (Figuras 39 a 41) e os valores mais elevados foram observados para os tratamentos com aléias que foram sempre superiores a testemunha. Foi observado também que os maiores valores tanto de NH_4^+ como de NO_3^- ocorreram nas camadas superficiais, nas profundidades de 0-10 cm, tanto para a estação seca quanto para o início da estação chuvosa (Figuras 42 a 44).

Em todas as parcelas com e sem aléias as concentrações de amônio foram sempre maiores que as de nitrato, de acordo com Piccolo et al. (1994); Verchot et al. (1999) e Martinelli (2003) isto pode estar relacionado a baixa disponibilidade de N nos sistemas estudados, assim como a maior preferência e captura de nitrato pelo microrganismos e vegetais. A disponibilidade do amônio pode ter sido influenciada pela natureza do solo, pelas características e propriedades como temperatura, capacidade de retenção de água, aeração, densidade, pH que provavelmente afetam a atividade de microrganismos responsáveis pela mineralização do nitrogênio.

As baixas concentrações de nitrato no solo nesses períodos de coleta podem indicar maior captura pela microbiota do solo e pelas raízes das plantas e também lixiviação, pois o nitrato é rapidamente lixiviado devido a sua carga negativa, que impede a sua agregação aos colóides do solo. Outra razão é a baixa produção de nitrogênio na forma nitrato, pois em solos de ecossistemas tropicais têm sido registradas altas taxas de amonificação e baixa nitrificação (Piccolo et al., 1994; Neill et al., 1997; Venzke Filho et al., 2004; Carmo; 2005). De acordo com Carmo (2005); Verchot et al. (1999) as baixas concentrações de nitrato em solos podem ocorrer em virtude da existência de poucos microrganismos nitrificadores. Além disso, outros fatores podem limitar o processo de nitrificação em solos como, por exemplo, a existência de microssítios anaeróbicos (Carmo, 2005).

Com relação às profundidades nas camadas de (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm) os teores de NH_4^+ e NO_3^- apresentaram diferenças significativas tanto para a estação seca quanto para a chuvosa. Foi observado que os maiores valores de NO_3^- e NH_4^+ ocorreram na estação seca nas profundidades de 0-20 cm e os menores valores na profundidade de 20-40 cm. Na estação chuvosa foi observado que os valores de NO_3^- e NH_4^+ também decresceram com a profundidade isso foi observado para todos os tratamentos com e sem aléias (Figuras 42 a 44).

No ano agrícola 2007/2008 houve um atraso nas coletas das amostras de solo sendo que as mesmas foram realizadas no mês de Janeiro do ano de 2008 quando o período chuvoso já tinha iniciado. É possível que o fluxo de nitrato no solo nesse período ainda tivesse ocorrendo, tendo em vista que os resultados encontrados foram mais elevados que os encontrados nas coletas feitas nos anos posteriores.

No início da estação chuvosa os maiores valores de nitrato ocorreram nos tratamentos com Sombreiro+leucena na profundidade de 0-10 cm (Figuras 42 a 44) e para o amônio os teores mais elevados foram encontrados nos tratamentos com Acácia+leucena na profundidade de 0-20 cm (Figuras 42 a 44). Os valores de nitrato para essa estação variaram de 2,41 a 6,17 g N kg^{-1} de solo. Na estação seca os maiores valores de nitrato mostraram

variações ocorrendo ora nas parcelas com Sombreiro+leucena ora nas parcelas com Acácia+leucena (Figuras 42 a 44). Para a estação seca a variação de nitrato foi de 1,56 a 5,28 g N kg⁻¹ de solo.

Os valores mais elevados de nitrato e amônio no início da estação chuvosa, em todos os sistemas, indicam que o enriquecimento da solução do solo pode ser proveniente da lixiviação dos produtos da mineralização da matéria orgânica do solo na estação seca.

Segundo Luizão (1992) uma maior produção de liteira ocorre na época seca, mas a sua decomposição é acelerada na época chuvosa devido à atividade de microorganismos. Segundo Neill et al. (1997) a umidade do solo pode ser um importante controlador de reservas de N-inorgânico no solo, principalmente nas taxas de transformações e disponibilidade de nitrato, essas relações são complexas e mediadas pelo balanço entre a mineralização e imobilização no solo e os microrganismos dependendo das taxas de umidade e dos processos de secagem do solo.

Para os valores de umidade do solo foi verificada interação significativa entre as profundidades e época de coleta (estação seca e chuvosa) e entre sistemas de manejo e época de coleta ($p < 0,05$). Os valores de umidade do solo foram significativamente maiores durante a estação chuvosa. Em todas as profundidades, assim como para os tratamentos, ocorreram diferenças significativas, tanto para o período seco, quanto para o chuvoso. Com relação à sazonalidade, como era de se esperar, os maiores valores de umidade foram encontrados no período chuvoso, nas profundidades de 20-40 cm e os menores valores no período seco, nas profundidades de 0-10 cm (Figura 45).

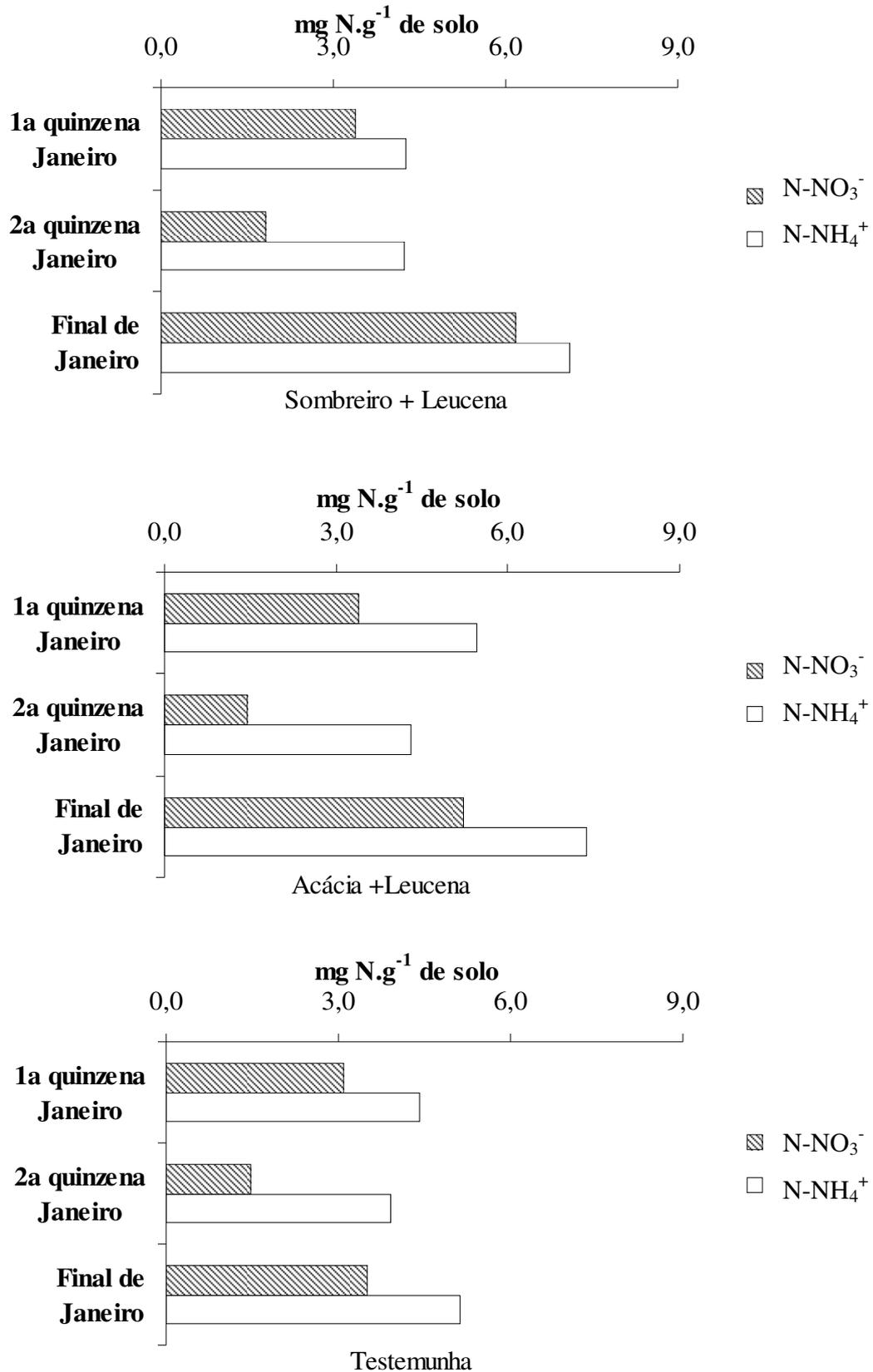


Figura 39 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, em amostras de solo retiradas no início da estação chuvosa (janeiro de 2008) em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA. Ano 2008.

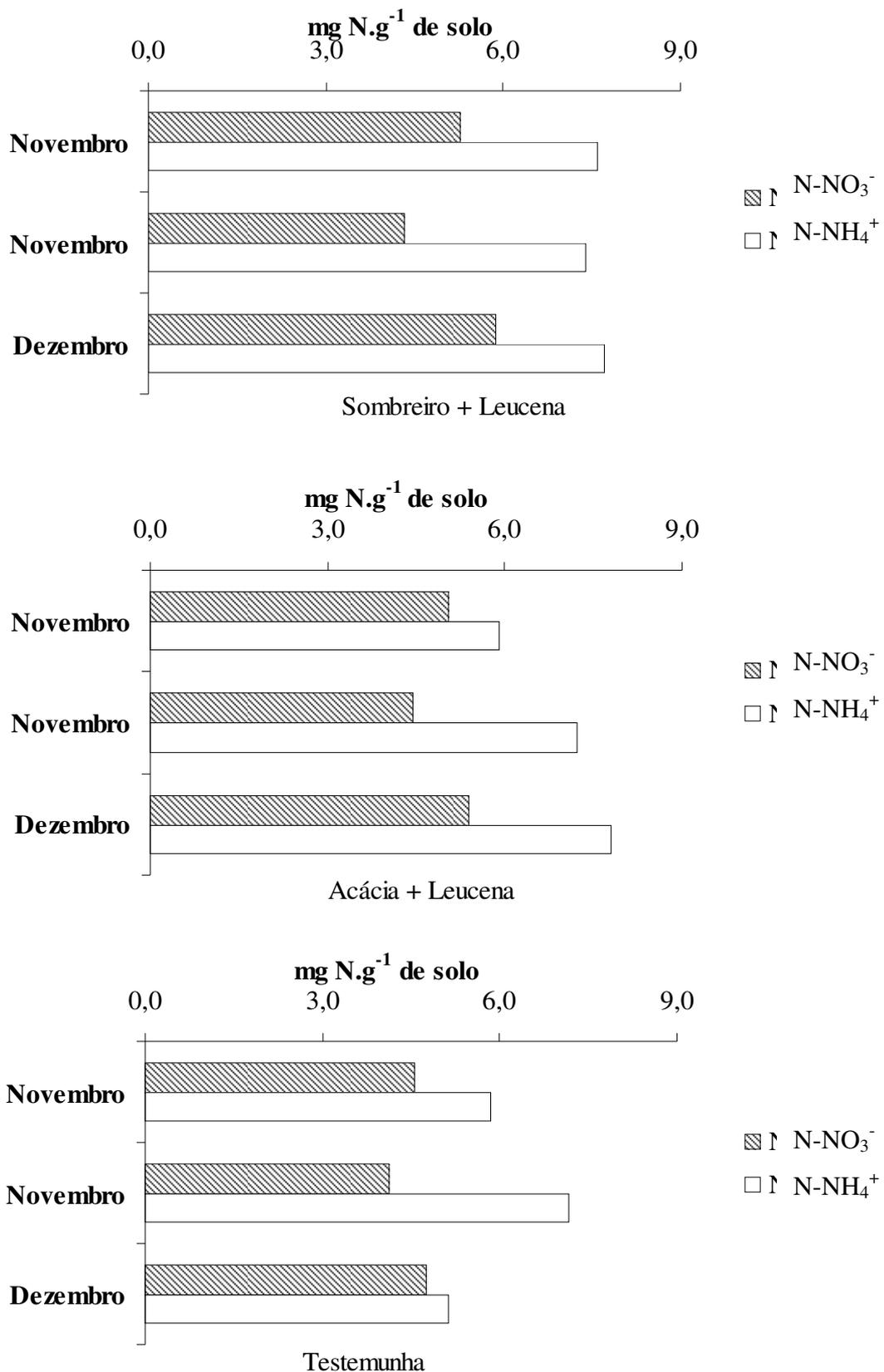


Figura 40 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, em amostras de solo retiradas no final da estação seca e início da estação chuvosa (Novembro e Dezembro) no ano de 2008 em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA.

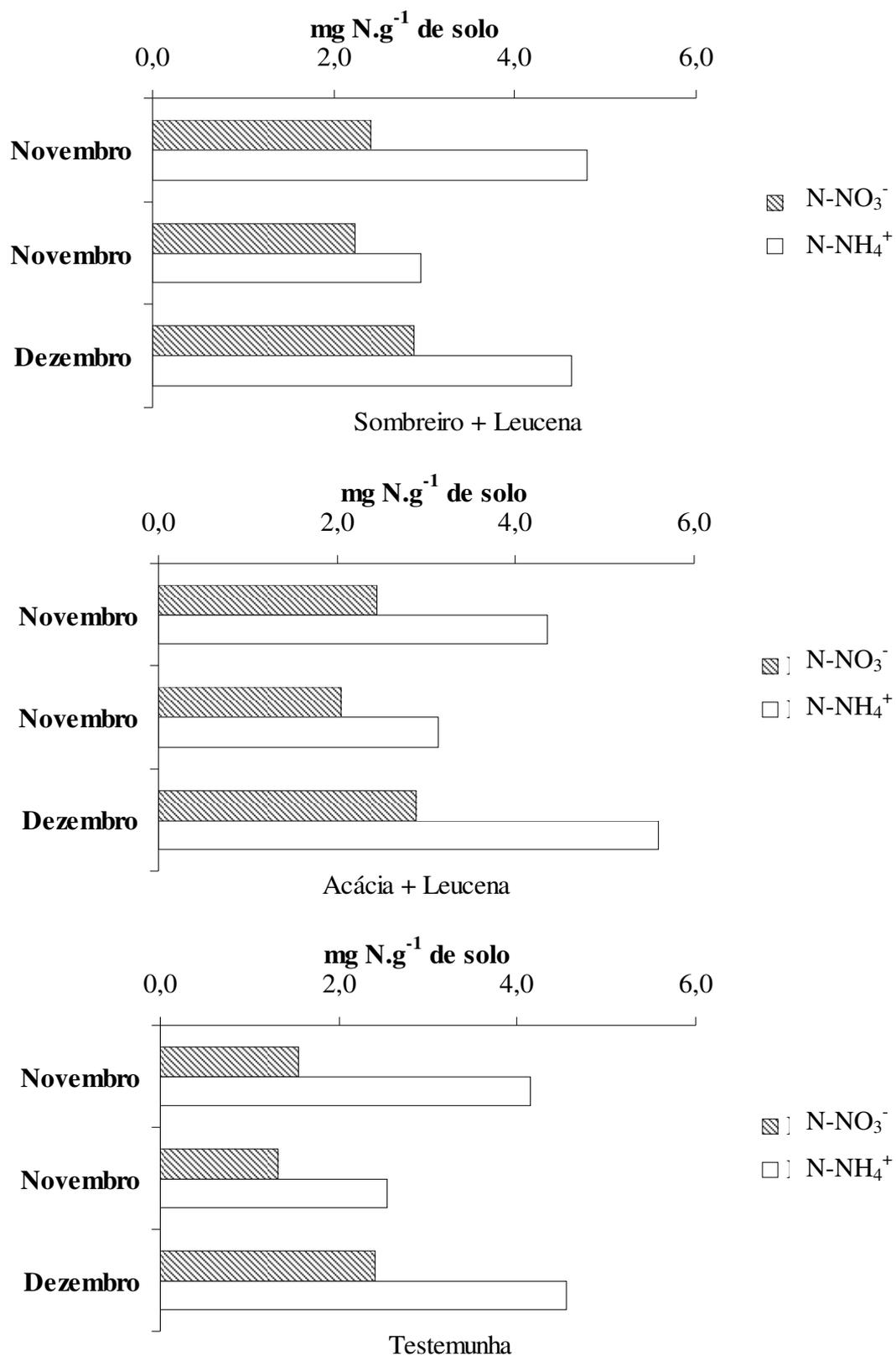


Figura 41 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, em amostras de solo retiradas no final da estação seca e início da estação chuvosa (Novembro e Dezembro) no ano de 2009 em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA.

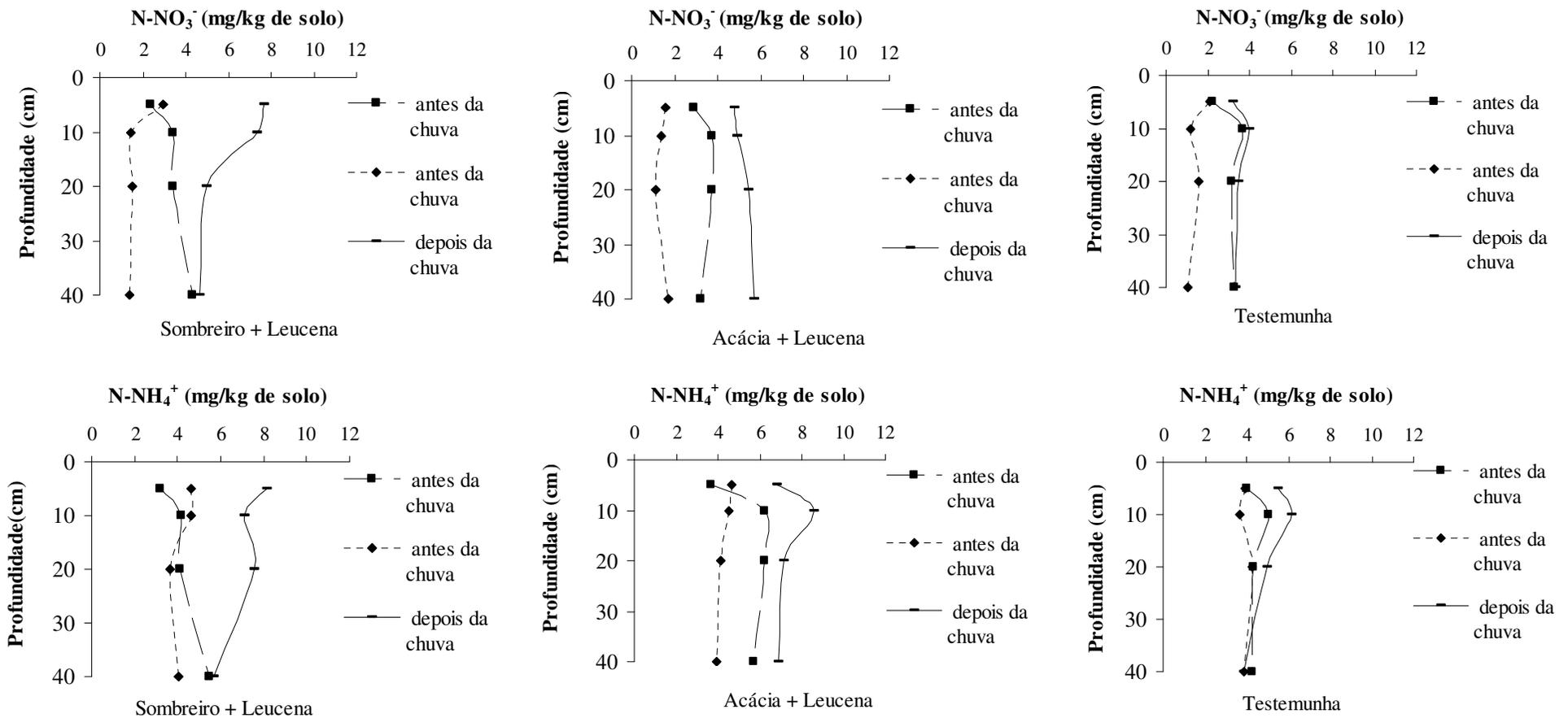


Figura 42 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no início da estação chuvosa (Janeiro) no ano de 2008 em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA

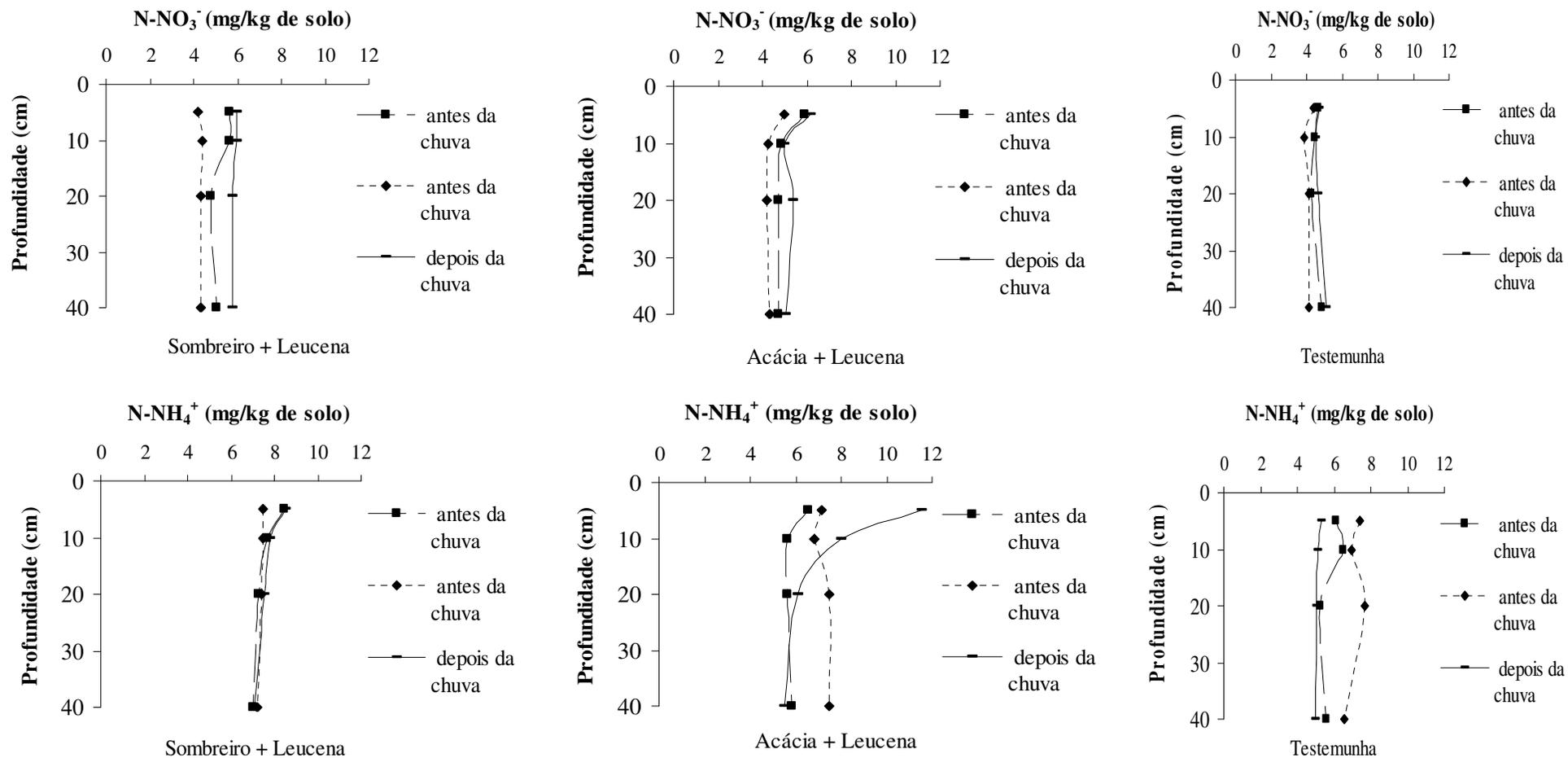


Figura 43 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no final da estação seca e início da estação chuvosa (novembro e dezembro) no ano de 2008 em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA.

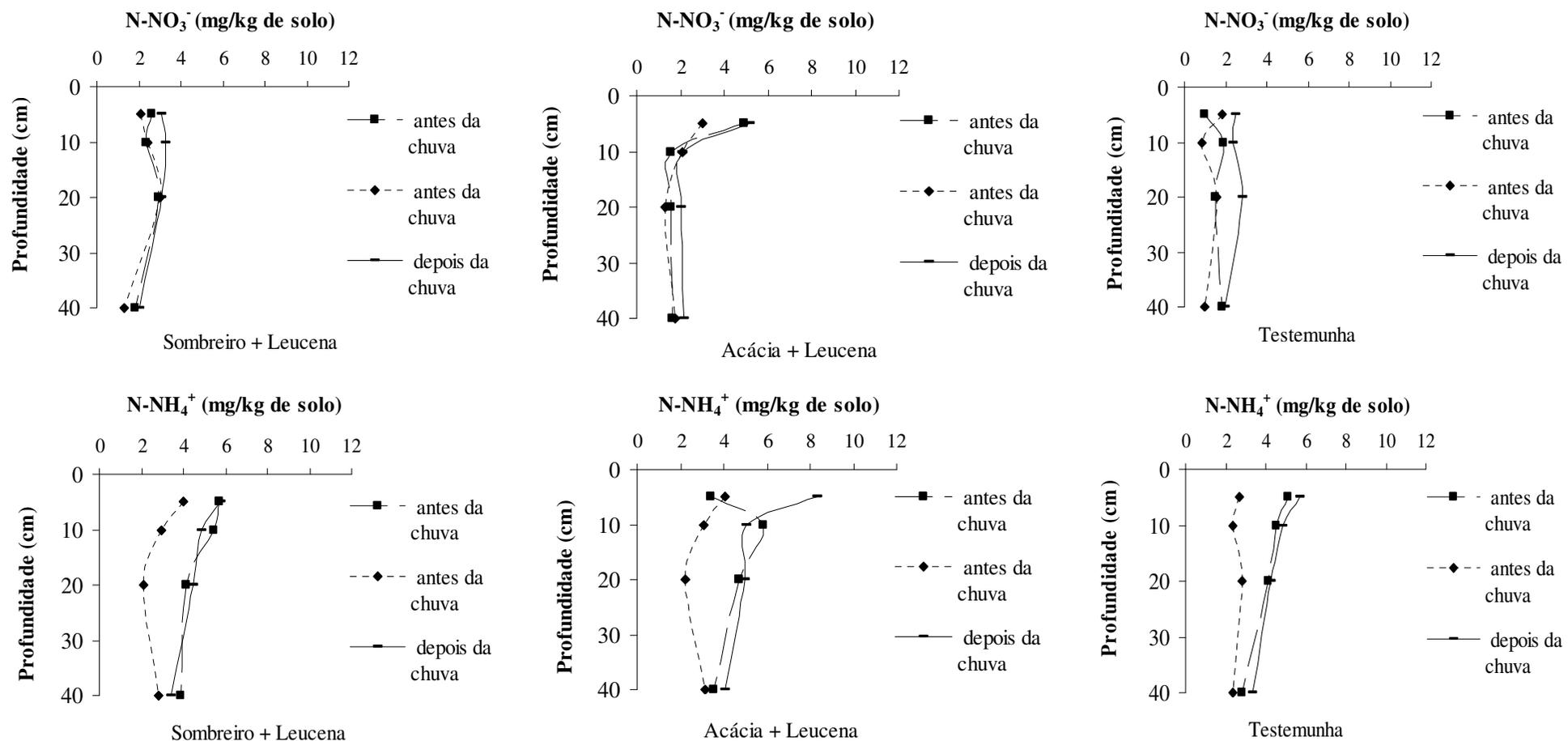


Figura 44 - Teores médios de $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$, em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no final da estação seca e início da estação chuvosa (novembro e dezembro) no ano de 2008 em uma área cultivada com sistema de manejo em aléias no município de São Luis – MA.

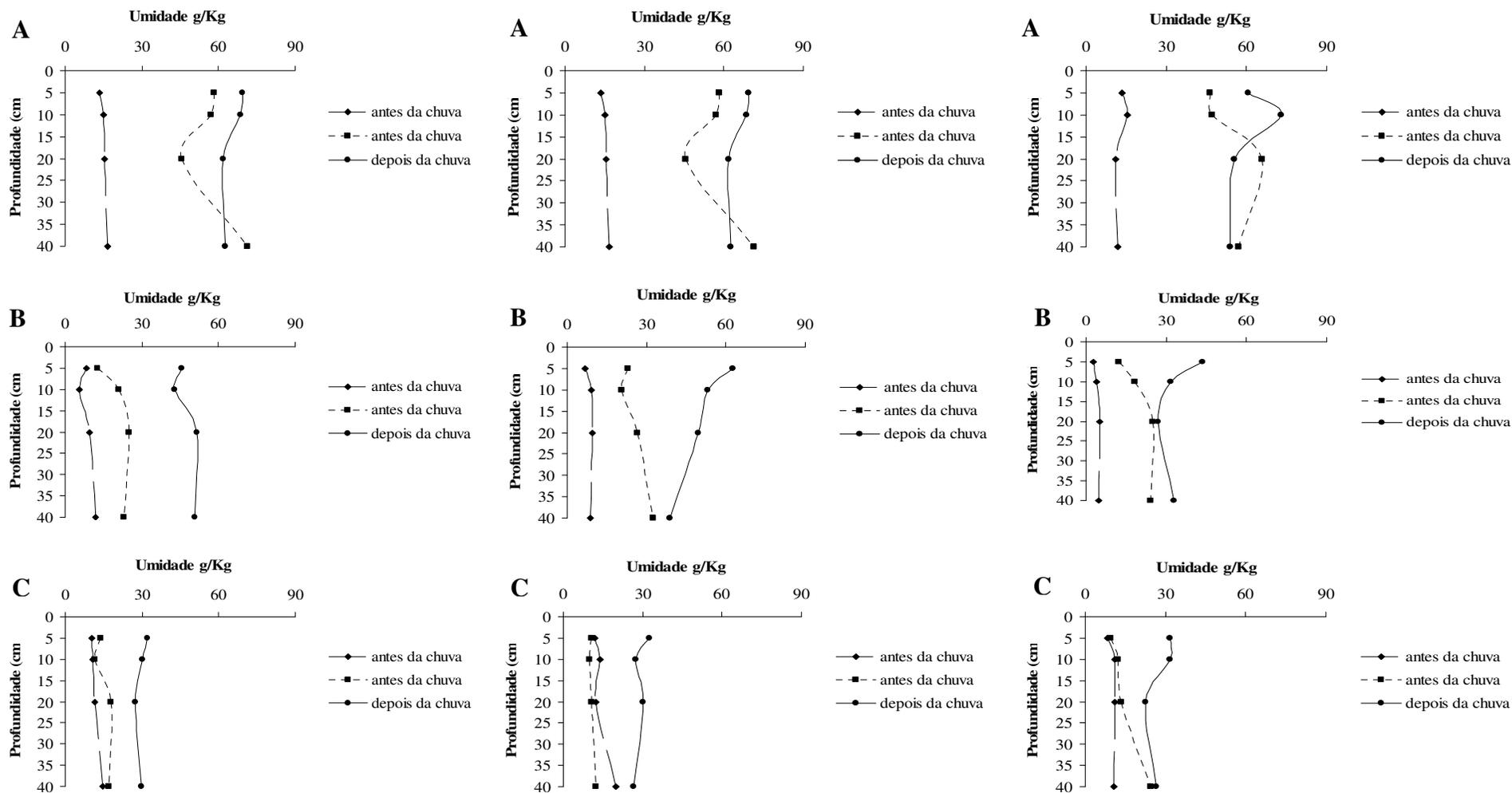


Figura 45 - Umidade do solo, em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no final do período seco e início do período chuvoso em três períodos (A - Janeiro/2008, B - Novembro e Dezembro/ 2008 e Novembro e Dezembro/2009) em uma área cultivada com e sem aléias no município de São Luis – MA.

3.6. CONCLUSÕES

- No sistema agroflorestal em aléias as variedades locais (Três Meses e Piauí) e melhoradas (Bonança e IAC-47) de arroz apresentaram comportamento diferenciado quanto à absorção, acúmulo e remobilização de N.
- As plantas de arroz das variedades locais Piauí e Três Meses foram mais eficientes para a produção de proteína bruta do grão. Já as variedades melhoradas Bonança e IAC-47 foram mais eficientes para a produção de grãos, o que estaria associado à maior eficiência de absorção de N pelas variedades melhoradas, e a eficiência de utilização do N absorvido pelas variedades locais confirmando os resultados obtidos em pesquisas anteriores com as variedades Piauí e IAC-47.
- Não foi observado “flush” sazonal de nitrato no solo na área experimental no início do período chuvoso. A análise da disponibilidade de nitrogênio mineral (NO_3^- e NH_4^+) no solo mostrou um predomínio do íon amônio em relação ao nitrato tanto no final da estação seca como no início do período chuvoso, com pequenas variações entre o teor de amônio e o de nitrato em todos os sistemas de manejo com e sem aléias. Os maiores teores foram encontrados na profundidade de 0-5 e 5-10cm.
- Nos condições de manejo agroflorestal em aléias as plantas de arroz mostraram-se pouco desenvolvidas e com grandes variações nos conteúdos de N presentes nas folhas e bainhas foliares. Os maiores acúmulos de NO_3^- foram observados nas bainhas indicando ser a bainha o compartimento de reserva de N no arroz e as variedades locais apresentaram os maiores teores.
- O sistema de manejo em aléias mostrou-se sempre superior á testemunha e dentre as aléias, os tratamentos resultante da combinação de Acácia+Leucena mostrou-se mais eficiente quanto ao fornecimento de N e onde foram encontrados os maiores teores de amônio e nitrato e demais parâmetros avaliados.

4. CAPÍTULO II

ABSORÇÃO, E METABOLISMO DE N EM VARIEDADES DE ARROZ SOB DIFERENTES AGROECOSSISTEMAS

4.1. RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a absorção de N por duas variedades de arroz diferentes quanto à capacidade de armazenamento e remobilização durante o “flush” de NO_3^- em condições de campo sob sistema de cultivo em aléias comparado aos sistemas de corte e queima e o sistema convencional. Foram instalados experimentos por dois anos consecutivos (2008/2009) em áreas de um assentamento situado no município de Miranda do Norte, Estado do Maranhão. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas corresponderam aos três sistemas de manejo do solo: aléias (*Clitoria fairchildiana*-sombreiro), corte e queima e convencional. Nas subparcelas, foram avaliadas as variedades tradicionais e melhoradas de arroz. Os parâmetros avaliados foram a atividade da nitrato redutase, o metabolismo do N na planta, o fluxo sazonal de NO_3^- no solo, produção de biomassa e a produtividade de arroz. Na fase inicial de crescimento da cultura até a antese, a atividade da nitrato redutase foi baixa em todos os sistemas de manejo e a máxima atividade da enzima ocorreu no período de enchimento dos grãos com maiores valores para as variedades melhoradas. A atividade da nitrato redutase na folha foi superior a da bainha. No período de enchimento de grãos foram observados os maiores teores de N-NO_3^- , N-NH_4^+ , N-amino e açúcar solúvel indicando maior atividade metabólica. A maior produtividade foi observada no sistema de cultivo em aléias seguido do sistema de corte e queima (roça no toco). As variações de NO_3^- no solo foram mais elevadas no início do período chuvoso e nas camadas superficiais.

Palavras - chave: Sistemas de manejo. Absorção de NO_3^- . Cultura do arroz

4.2. ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the N uptake of two rice varieties that differs in the storage and remobilization during NO_3^- "flush", under field conditions in alley cropping compared to slash and burn and conventional management systems. Experiments were carried out for two consecutive years (2008/2009) in areas of a settlement located in the town of Miranda do Norte, Maranhão State. The experimental design was of random blocks with sub-divided plots, with four repetitions. The blocks corresponded to three soil management systems: alleys (*Clitoria fairchildiana*), cutting and burning, and conventional. In the subplots there were evaluated two varieties of rice, traditional and improved. The parameters studied were: activity of nitrate reductase, metabolism of plant N, seasonal flow of NO_3^- in soil, biomass production, and rice productivity. From the rice initial growth phase up to the anthesis, the nitrate reductase activity was low in all the management systems, and the maxim activity of the enzyme occurred in the grain filling phase, with largest values for the genetically breed varieties. The nitrate reductase activity in the leaf was superior to the stem one. In the grain filling phase the content of N- NO_3^- , N- NH_4^+ , N-amino and soluble sugar was the highest, indicating larger metabolic activity. The highest yield was observed in the alley cropping system, followed by the cutting and burning (the stump field). The variations of NO_3^- in soil were highest in the beginning of the rainy season and in the superficial layers.

Keywords: Management systems. Absorption of NO_3^- . Rice crop.

4.3. INTRODUÇÃO

O modelo de produção agrícola dominante no Maranhão é baseado no cultivo itinerante, processo que consiste na derrubada e queima da mata primária e, ou secundária (capoeira) para a implantação de culturas de subsistência que ocorre de forma rudimentar, conhecido como "roça no toco" e que resulta em baixos índices de produtividade. Nesse sistema, após um ciclo de cultivo, em torno de dois anos, a área é deixada em pousio em ciclos que variam em média de 5 a 10 anos, para a regeneração da vegetação secundária em razão da diminuição da fertilidade natural do solo e surgimento de plantas espontâneas, pragas e doenças. Nessas áreas, o processo contínuo de corte e queima tem causado a perda gradativa do potencial produtivo do solo, devido à diminuição da sua fertilidade, principalmente pela perda de nutrientes e de matéria orgânica, decorrente da falta de manejo adequado do sistema produtivo. O efeito mais expressivo ocorre sobre a matéria orgânica (MO) que pode ser direto, pela queima em si da M.O., ou indireto atuando sobre os organismos responsáveis pelo seu ciclo. Outro efeito negativo da queima dos resíduos culturais, é emissões de C na forma de CO₂ e outros gases que causam efeito estufa.

Esse tipo de sistema agrícola é aplicado em regiões onde a agricultura é descapitalizada e está fortemente relacionado à pobreza no meio rural. A produção é obtida em pequenas e médias propriedades ou em parcelas de grande latifúndio, com utilizações de mão-de-obra familiar e técnicas tradicionais. Por falta de recursos, não há preocupação com a conservação do solo, as sementes são de qualidade inferior e não há investimento em fertilizantes, por isso, a rentabilidade e as produções são baixas.

A grande maioria dos solos dos trópicos úmidos são considerados de baixa fertilidade (Sanchez, 1976), em consequência das condições climáticas que causam um alto grau de intemperização desses solos, resultando na dominância de solos com baixa CTC, baixo pH (tipicamente <5,5 na camada superficial do solo), problemas com toxicidade de Al, fixação de fósforo e baixos teores de matéria orgânica e dos nutrientes contidos nela.

Nessas regiões de clima tropical existem duas estações bem definidas, caracterizadas por um período seco seguido de outro com grande intensidade de chuvas. Segundo Greenland (1958) e Wetselaar (1961a, b), este tipo de clima ocasiona fluxos sazonais de nutrientes no solo. Dentre estes, o nitrogênio (N), encontrado predominantemente na forma nítrica, que está sujeito à lixiviação intensa durante a estação das chuvas, tornando-se disponível para as plantas apenas no início do período úmido, devendo, portanto, ser absorvido rapidamente.

Segundo esses autores, no trópico úmido o nitrato se acumula na superfície do solo nas épocas de estiagem e com a chegada da chuva este é lixiviado permanecendo no solo em concentrações mínimas, praticamente traços, ocorrendo um fluxo sazonal da disponibilidade de nitrogênio, condições nas quais é desenvolvida a agricultura, sem adição de fertilizantes. No entanto, o aumento da umidade do solo pode favorecer a atividade microbiana que poderia produzir substâncias com ação hormonal induzindo o crescimento radicular ou estimulando a transcrição de transportadores aumentando a absorção de nutrientes o que torna necessário, que as plantas cultivadas sejam eficientes na utilização deste nutriente. No Estado do Maranhão esse fluxo de NO₃⁻ parece ser continuado pelo sistema de corte e queima praticado pelos agricultores familiares.

No Estado, o sistema de cultivo familiar predominante é o consórcio de arroz x milho x mandioca e o cultivo do feijão-caupi em pequenas áreas. O cultivo ocorre em roças não destocadas sob babaçuais, que na lógica do agricultor, lhe proporciona uma garantia alimentar, uma maior renda e menor risco. Neste modelo, utilizam variedades tradicionais de arroz (Canedo, 1993) oriundas de regiões onde a disponibilidade de nutrientes é limitante. Estudos realizados com essas variedades têm evidenciado sua maior eficiência quanto à aquisição e ao uso de nitrogênio

(N) (Souza et al., 1998; Rodrigues et al., 2004; Souza & Fernandes, 2006). Segundo Santos et al. (2009), a importância do arroz é ainda maior para as populações de baixa renda que cultivam este cereal em lavouras de subsistência, utilizando-o como seu principal alimento.

A sustentabilidade da agricultura praticada nessas áreas depende da realização de estudos para que se adote tecnologia que permita o cultivo de uma mesma área por vários anos sem a dependência da fertilização das cinzas. A adoção de Sistemas Agroflorestais (SAF's), tem se constituído uma alternativa sustentável para aumentar os níveis de produção agrícola, animal e florestal e para recuperar áreas degradadas, sob condições diferenciadas de solo e clima. O cultivo em aléias tem se mostrado uma alternativa interessante para substituição do modelo itinerante de corte e queima para os agricultores da região visando à melhoria da qualidade do solo e aumento sustentável da produção, uma vez que permitem a obtenção de alimentos, madeira, fibras, medicamentos e adubos verdes, além da cultura comercial. Esses sistemas prestam também serviços ambientais, ajudando a manter a fertilidade do solo, aumentando a biodiversidade e regulando a disponibilidade de água no sistema (Soto Pinto et al., 2000).

O desenvolvimento de tecnologias de produção com base conservacionista é essencial para manutenção da qualidade do solo, pois minimiza a perda de nutrientes, aumenta os estoques de matéria orgânica do solo, contribuindo para redução das emissões de gases de efeito estufa e promove a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Segundo Martins et al. (2000), problemas como a concentração de terras e o crescimento da população têm contribuído para o encurtamento do período de pousio, o que torna a agricultura itinerante insustentável do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Trabalhos realizados em regiões tropicais com características semelhantes às aquelas que ocorrem no Estado do Maranhão reportam que SAFs, que integram espécies arbóreas perenes, cultura e/ou animais em uma mesma área podem reduzir as queimadas (Martins et al., 2006), aumentar a diversidade e espécies, preservar os ciclos dos nutrientes e manter níveis razoáveis de produtividade (Cooper et al., 1996).

No Estado do Maranhão algumas iniciativas vêm sendo feitas nesse sentido utilizando sistemas em aléias, contudo, nenhuns dos estudos desenvolvidos no Estado comprovam cientificamente os benefícios do sistema em aléias atuando diretamente no metabolismo de plantas.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a absorção de N por duas variedades de arroz, diferentes quanto à capacidade de armazenamento e remobilização durante o "flush" ou fluxo de NO_3^- em condições de campo sob sistema de cultivo em aléias comparado ao sistema de corte e queima praticado no Estado do Maranhão.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1. Localização e caracterização da área de estudo

O experimento foi instalado nos anos de 2008 e 2009 em condições de campo no período de janeiro a maio no município de Miranda do Norte-MA (3°34'S e 44°35'O), situado aproximadamente a 130 km ao norte de São Luís, pertencente à região da Baixada Maranhense, em uma área do projeto de Assentamento do INCRA denominado Tico-Tico (Figura 49). Antes da instalação do experimento percorreu-se parte da área do Assentamento para escolha das áreas experimentais, procurando-se correlações entre os solos, tempo de pousio e acesso, bem como outros fatores do meio físico como relevo e vegetação. Selecionaram-se três áreas com situações distintas de uso e manejo, assim discriminadas: Área 1 - Área com Sistema Agroflorestal em aléias com *Clitoria fairchildiana* (sombreiro), com 8 anos de implantação; Área 2 - Área de capoeira queimada para uso do sistema de roça no toco, caracterizado pela derrubada e queima da vegetação, e a Área 3 - Área de capoeira com 8 anos que havia sido desmatada mecanicamente e gradeada, para ser usada com o sistema convencional, as áreas 2 e 3 serviriam de testemunha.

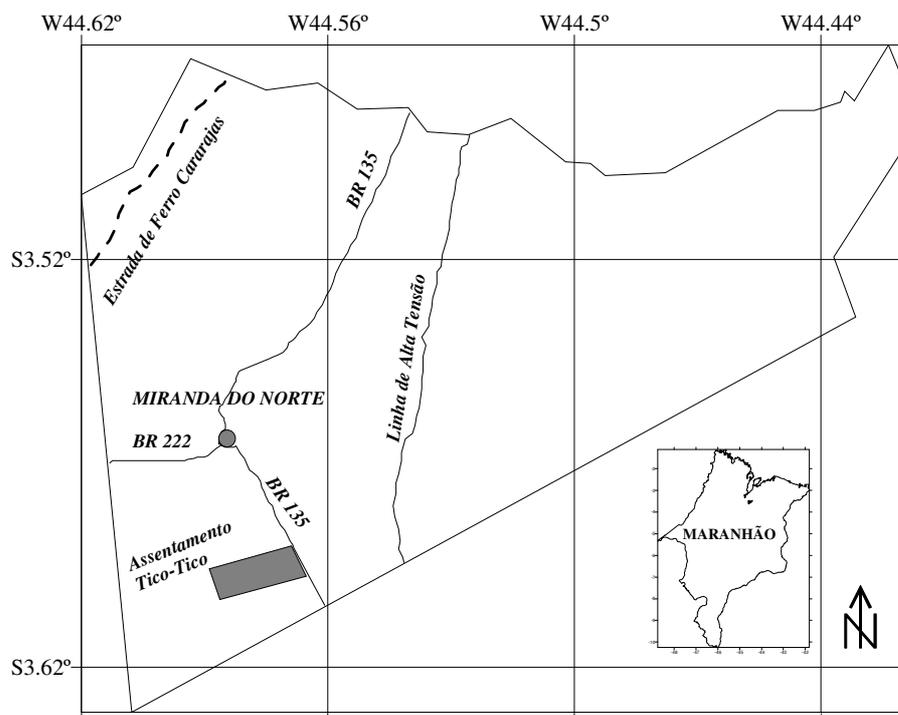


Figura 46 - Localização da área experimental no município de Miranda do Norte - MA.

A unidade geológica da área é representada pela Formação Itapecuru, de origem sedimentar e do período Cretáceo inferior, que se estende praticamente por metade do norte do Maranhão, ocupando área de 50% do estado. É constituída por arenitos finos, avermelhados e róseos, cinza argilosos, geralmente com estratificação horizontal.

Nas áreas onde foram instalados os experimentos predominam os Plintossolos, com variações de pedregosidade e fertilidade natural, porém com fortes limitações quanto à drenagem e textura argilosa, influenciadas pelos ciclos repetitivos de saturação e de escassez de água causados pela dinâmica do clima típico da região da Baixada Maranhense. O solo da área experimental onde se encontra implantado o sistema de manejo em aléias, foi classificado como

PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006), com relevo plano a suave ondulado característico da Baixada Maranhense.

Antes da instalação dos experimentos foram coletadas amostras de solo de todas as áreas para caracterização química e física, e os resultados encontram-se a seguir (Tabelas 32 e 33).

Tabela 32 - Resultado da análise química do solo antes da instalação do experimento, nas áreas com sistemas em aléias, roça no toco e cultivo convencional no município de Miranda do Norte-MA no primeiro e segundo ano do experimento.

Prof. cm	Tratamento	M.O. g/dm ³	pH CaCl ₂	P mg/dm ³	mmol _c /dm ³							
					Ca	Mg	K	H+Al	Al	S.B	T	V %
Ano 2008												
0-5	Aléias	45	4,9	5,0	38	14	4,4	38	0	56,4	94,4	60
	Roça no Toco	28	5,5	10	34	16	9,4	18	0	59,4	77,4	77
	Convencional	28	4,6	52	38	11	4,8	40	0	53,8	93,8	57
5-10	Aléias	36	4,6	2,0	25	10	3,7	40	0	38,7	78,7	49
	Roça no Toco	15	4,6	1,0	18	9,0	1,9	29	2	28,9	57,9	50
	Convencional	12	4,2	14	17	9,0	1,6	34	3	27,6	61,6	45
10-20	Aléias	34	4,4	1,0	23	12	5,0	40	4	40	80	50
	Roça no Toco	14	4,5	1,0	19	10	1,6	32	4	30,6	62,6	49
	Convencional	10	4,2	10	13	5,0	1,3	34	3	19,3	53,3	36
20-40	Aléias	33	4,3	1,0	11	11	9,2	58	11	31,2	89,2	35
	Roça no Toco	13	4,4	0,0	21	12	1,6	34	12	34,6	68,6	50
	Convencional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ano 2009												
0-5	Aléias	23	4,2	4	25	11	2,3	45	0	38,3	83,3	46
	Roça no Toco	18	4,5	48	21	16	5,0	44	0	42	86	49
	Convencional	40	4,4	11	22	10	3,0	40	0	35	75	47
5-10	Aléias	17	4,1	49	25	11	2,5	45	1	38,5	83,5	46
	Roça no Toco	23	4,4	3	28	15	3,9	45	3	46,9	91,9	51
	Convencional	30	4,4	2	23	14	3,5	40	3	40,5	80,5	50
10-20	Aléias	12	4,0	11	21	14	2,0	52	4	37	89	42
	Roça no Toco	18	4,2	2	24	13	4,0	45	4	41	86	48
	Convencional	30	4,4	2	23	13	3,1	40	4	39,1	79,1	49
20-40	Aléias	33	5,2	11	42	20	6,7	29	10	68,7	97,7	70
	Roça no Toco	43	4,6	2	24	13	4,1	45	11	41,1	86,1	48
	Convencional	44	4,7	67	49	19	7,1	47	11	75,1	122,1	61

MO= Matéria orgânica ; V= Saturação de bases; S.B.= Soma de bases; CTC= Capacidade de Troca de Cátions; Extrator: Resina.

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo – UEMA – São Luís (MA).

As áreas dos três agrossistemas (aléias, área queimada, e área desmatada e gradeada mecanicamente) nos dois anos de cultivo do arroz, mostram alterações nas características físicas e químicas do solo em função do uso e do manejo, sendo que no segundo ano de cultivo os valores apresentaram-se mais baixos (Tabelas 32 e 33). Os solos das três áreas com os diferentes sistemas de manejo são ácidos e têm toxidez por alumínio em profundidade.

Nas aléias os teores de matéria orgânica foram superiores aos da roça no toco (área queimada) e na área com plantio convencional (sem queima e com adubação mineral) o que justifica os valores de pH em média mais baixos nesse sistema de manejo. Na área com roça no toco, os valores de pH foram mais elevados, devido provavelmente ao acréscimo pelas cinzas, que também é fonte de nutrientes, enquanto que no plantio convencional a ausência da calagem favoreceu os baixos valores de pH.

Na área queimada os teores de fósforo disponíveis encontrados foram praticamente o dobro daqueles encontrados nas aléias principalmente na camada superficial, enquanto que na área de plantio convencional os teores de fósforo foram muito elevados possivelmente em decorrência do efeito residual de adubações anteriores.

Os teores de cálcio (Ca^{++}) e magnésio (Mg^{++}) foram considerados altos para todas as áreas, apresentando valores mais elevados sempre nos primeiros centímetros de solo, decrescendo com a profundidade. Este fato provavelmente é decorrente da lixiviação de Ca^{++} e Mg^{++} para as camadas inferiores, provenientes da queima da área, da especificidade da reciclagem de cada cobertura vegetal (com ou sem aléias) ou mesmo da decomposição do sistema radicular da mata primitiva. No sistema convencional embora os teores encontrados tenham sido mais baixos as variações foram maiores e no geral decresceram de forma semelhante.

Os teores de potássio (K^+) apresentaram-se bastante variados, compreendendo valores baixos, médios e altos. Em geral, observou-se que os valores de potássio decresceram com a profundidade e os maiores teores foram observados nos primeiros centímetros superficiais do solo. Na área recém queimada observou-se acúmulo de potássio nos primeiros cinco centímetros, em decorrência da queima e da consequente disponibilização de K^+ residual em cinzas. Nas aléias os teores de potássio foram altos nos primeiros centímetros e, a partir daí ocorreram algumas oscilações aumentando em profundidade.

Esses resultados demonstram que nas aléias, grande parte dos nutrientes está contida na vegetação, sendo liberados aos poucos, por meio da decomposição das folhas, ramos e galhos, depois da incorporação ao solo propriamente dito. No caso do sistema convencional, o manejo do solo não é eficiente na manutenção dos nutrientes, ocorrendo perda dos mesmos. Desta forma, talvez esse fato justifique a preferência dos agricultores em adotar o sistema de cultivo de derrubada e queima da vegetação para o cultivo de culturas anuais seguida de pastagem.

Com relação às propriedades físicas, em todas as áreas predomina a fração areia, encontrando-se a fração areia fina em maior proporção (Tabela 33). Os teores de argila variaram de 80 a 140 g kg^{-1} e os de silte de 20 a 650 g.kg^{-1} .

Tabela 33 - Resultado da análise física do solo antes da instalação do experimento, nas áreas com sistemas em aléias, roça no toco e cultivo convencional no município de Miranda do Norte-MA no primeiro ano do experimento.

Prof. cm	Tratamento	Composição Granulométrica				Textura	Densidade		Porosidade %
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila		Aparente	Real	
		g.kg^{-1}				g.cm^{-3}			
Ano 2008									
0-5	Aléias	190	660	30	120	Franco arenoso	1,33	2,63	49,43
	Roça no Toco	240	620	20	120	Areia franca	1,33	2,65	49,81
	Convencional	310	560	30	100	Areia franca	1,32	2,63	49,81
5-10	Aléias	340	490	30	140	Franco arenoso	1,34	2,62	48,85
	Roça no Toco	150	750	50	100	Areia franca	1,38	2,64	47,73
	Convencional	260	610	40	90	Areia franca	1,34	2,63	49,05
10-20	Aléias	380	450	30	140	Franco arenoso	1,34	2,61	48,45
	Roça no Toco	250	650	40	70	Areia franca	1,33	2,63	48,60
	Convencional	350	520	30	100	Areia franca	1,33	2,63	49,0
20-40	Aléias	40	200	650	110	Franco siltoso	1,57	2,68	41,42
	Roça no Toco	250	640	30	80	Areia franca	1,32	2,62	49,62
	Convencional	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo – UEMA – São Luís (MA).

No sistema em aléias observou-se uma tendência da argila aumentar em profundidade, enquanto que nas demais áreas até a profundidade de 40 cm os teores de argila apresentaram oscilações. O alto teor de areia fina facilita a compactação, isto é, as partículas mais finas entram nos espaços deixados pelas partículas maiores. Assim verificou-se uma expressiva resistência do solo, na camada de 20-40 cm, principalmente nas áreas queimadas e de plantio convencional demonstrando que a compactação não é proveniente apenas do pisoteio, mas também do ajuste de

partículas (Ferreira et al., 1999), consequência do entupimento dos poros pelas partículas mais finas, bem como dos ciclos de umedecimento e secagem do solo (Oliveira et al., 1996).

4.4.2. Clima

O clima da região é do tipo B₂WA'a': B₂ - úmido, W - moderada deficiência de água no inverno (junho a setembro), A' - megatérmico (temperatura média anual acima de 18°C) e a' - concentração da evapotranspiração potencial nos meses mais quentes do ano menor que 48%, segundo classificação climática proposta por Thornthwaite (1948).

A região apresenta dois períodos distintos: um chuvoso entre dezembro e maio e outro seco entre junho e novembro. De acordo com as normais climatológicas provisórias (1991-2009), baseada nos dados da Agência Nacional de Águas – ANA (2010) no município de Miranda chove anualmente cerca de 1876 mm, sendo que 85% deste total se concentra no período chuvoso, com os meses mais chuvosos março e abril. Apenas 15% do total anual ocorrem no período seco do ano, sendo os meses mais críticos os de agosto e setembro.

O balanço hídrico da região, segundo Thornthwaite e Mather (1955) para CAD de 100 mm, revela entre janeiro e maio um excesso anual de água no solo da ordem de 777 mm, por outro lado entre os meses de junho a dezembro ocorre deficiência de água no solo totalizando 538 mm. A evapotranspiração potencial é elevada ao longo do ano com valor médio chegando a 1636 mm. A temperatura média anual é de 26,5°C, variando entre 25,8°C durante a estação chuvosa e 27,4°C durante a estação seca.

Os dados climáticos mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar e radiação solar para os anos de 2008 e 2009 foram obtidos do acervo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – INPE/CPTEC acessado via internet pelo site <http://www.cptec.inpe.br> e National Centers for Environmental Prediction - NCEP (http://nomad3.ncep.noaa.gov/cgi-bin/pdisp_mp_r2.sh). Utilizaram-se os dados da estação meteorológica de do município de Itapecuru Mirim-MA por ser a estação mais próxima do município de Miranda do Norte. (Figuras 50 e 51).

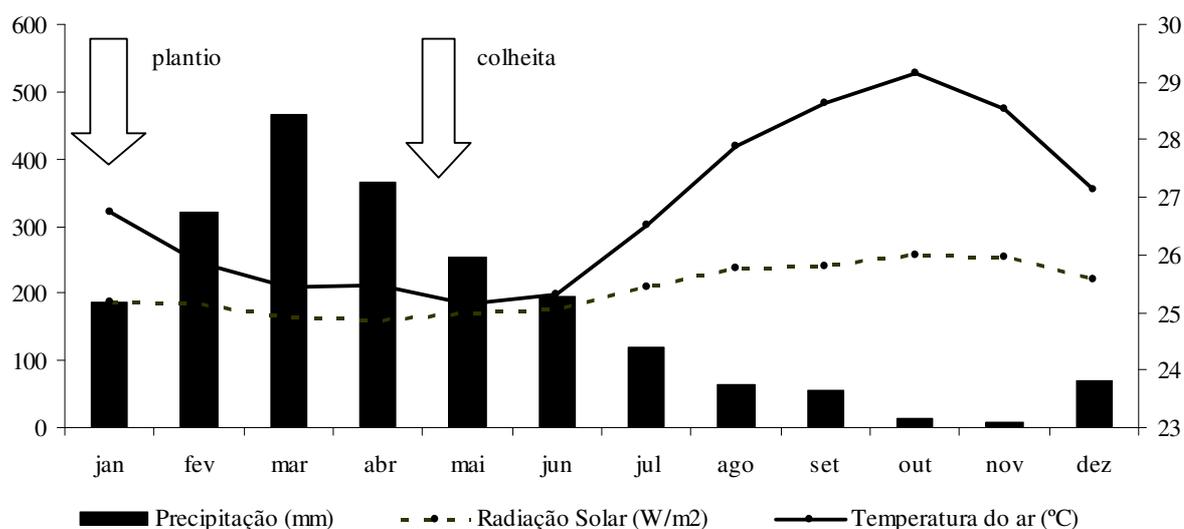


Figura 47 - Totais mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar e radiação solar do município de Itapecuru Mirim-MA no ano de 2008. Fonte dos dados: INPE/CPTEC

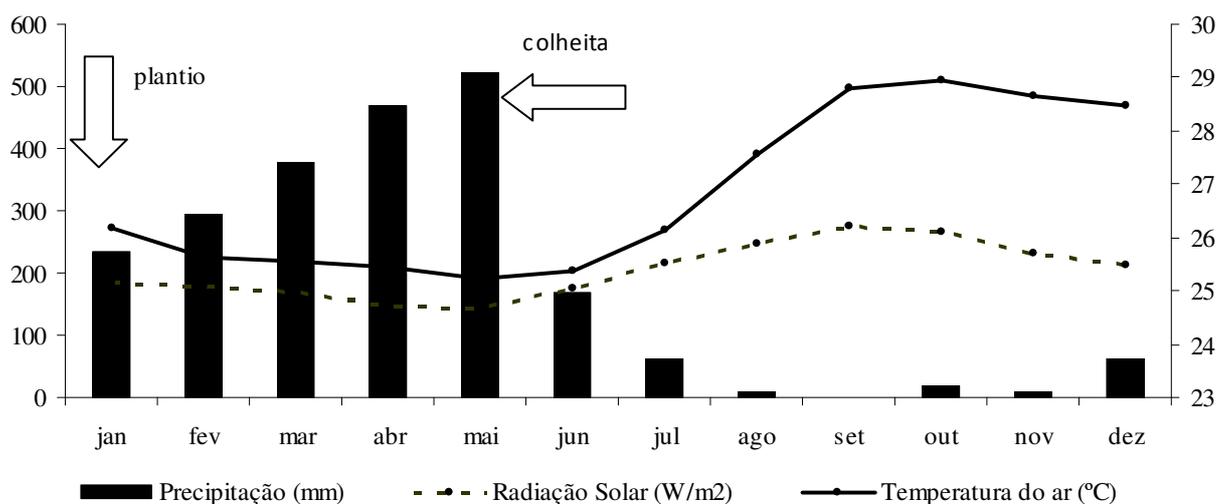


Figura 48 - Totais mensais de precipitação pluvial, temperatura do ar e radiação solar em Itapecuru Mirim-MA no ano de 2009. Fonte dos dados: INPE/CPTEC/PROCLIMA e NCEP.

4.4.3. Histórico da área experimental

O sistema de cultivo em aléias foi implantado como Unidade Demonstrativa teste em uma área do projeto de Assentamento do INCRA denominado Tico-Tico, em Miranda do Norte – MA no ano de 2002. Para a instalação da Unidade, uma capoeira de mais ou menos quatro anos foi desmatada com trator de pneu para implantação de um agroecossistema conhecido como “alley cropping” (cultivo em aléias) com o sombreiro (*Clitoria fairchildiana*), uma leguminosa arbórea, nativa, no espaçamento de 2,6 m entre fileiras e 0,5 m entre plantas (Martins, 2006). A escolha da espécie, após vários testes realizados em estação experimental, se deu em função de sua capacidade de adaptação tanto ao período de seca, quanto ao excesso de chuvas, produzindo grande quantidade de material de grande durabilidade na superfície do solo. Foram semeadas 40 fileiras de 110m de comprimento totalizando uma área de aproximadamente 12.000m².

Para correção da acidez foram aplicadas, na superfície do solo, 2 t.ha⁻¹ de um corretivo local, derivado de margas, com PRNT de 42%. Também foram aplicados 500 kg. ha⁻¹ de fosfato de rocha no primeiro ano de plantio. No início do período chuvoso, desde a implantação do sistema, quatro culturas econômicas são semeadas anualmente entre as fileiras da leguminosa e logo após sua germinação é feito o corte dos galhos que são aplicados entre as linhas da cultura.

O primeiro plantio de culturas anuais iniciou-se com o milho em 2002, seguido de feijão caupi (*Vigna unguiculata*). Em 2003 e 2004 a área foi plantada com milho, arroz e feijão caupi. No ano de 2005 e 2006, foi plantado milho (Martins, 2006).

4.4.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados em esquema de parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de três sistemas de manejo do solo: aléias, roça no toco (corte e queima) e convencional. Nas subparcelas consideraram-se as três épocas de amostragem, e nas sub-subparcelas foram avaliadas as duas variedades de arroz (tradicional e melhorada). Os parâmetros avaliados foram a atividade da nitrato redutase, o metabolismo do N na planta, o fluxo sazonal de NO₃⁻ no solo, produção de biomassa e a produtividade.

No sistema em aléias cada parcela ou unidade experimental foi constituída por três fileiras de leguminosas (sombreiro) com doze metros, espaçadas entre si 3,5 m, com duas plantas de leguminosa por metro linear. Entre as fileiras de leguminosa, foram semeadas quatro fileiras de arroz, espaçadas entre si em 0,2m, totalizando oito fileiras para cada parcela. Considerou-se como área útil, as duas fileiras centrais de cada fileira descartados 0,5 m das suas extremidades.

No sistema de roça no toco (corte e queima), e no sistema convencional a área total de cada parcela foi de 20m² (10x2m), cada parcela foi subdividida em duas subparcelas onde foram plantadas as duas variedades de arroz (tradicional e melhorada). Cada sub-parcela foi constituída por cinco fileiras de arroz, com comprimento de 5m espaçadas entre si em 0,4m, com cinco plantas por metro linear, totalizando uma área de 10m² (5x2m). Considerou-se como área útil, as três fileiras centrais de Arroz de cada parcela, descartadas as duas fileiras das extremidades.

4.4.5. Variedades estudadas

Foram utilizadas as mesmas variedades de arroz do experimento com aléias de São Luis mostrado no capítulo I: variedades Bonança e Três meses no primeiro ano e Piauí e IAC-47 no segundo ano.

4.4.6. Semeadura

No sistema de manejo em aléias o plantio foi efetuado nas seguintes datas 25/01/08 e 25/01/09. A semeadura nos dois anos foi feita manualmente usando-se 6-7 sementes/cova. A germinação das plântulas se deu entre 10- 15 dias após a semeadura. A adubação de semeadura foi a mesma usada no experimento em aléias instalado em São Luis – MA.

No sistema de roça no toco e convencional a semeadura também foi realizada manualmente, semeando-se entre 6 a 7 sementes por cova. O espaçamento entre covas foi de 0,2m. A germinação ocorreu aproximadamente 10 e 15 dias da semeadura, sendo efetuada duas capinas manuais para controlar o mato aos 10 e 20 dias após a germinação.

Nos dois anos consecutivos em que se realizou a pesquisa durante o período de condução do experimento parte das áreas de roça no toco e de plantio convencional foi alagada. Esta última por localizar-se em uma parte mais baixa alagou muito tendo seu acesso dificultado fato que impossibilitou as coletas. Dessa forma, uma vez constatada a impossibilidade de realizar as avaliações previstas optou-se por manter as plantas submersas e avaliar apenas a produtividade.

4.4.7. Corte das leguminosas

O corte das leguminosas foi feito 20 dias após a semeadura adotando-se o mesmo procedimento já mencionado no capítulo I. Nos anos de 2008 e 2009, as aléias de sombreiro foram podadas manualmente uma única vez à altura de 1 m. Todas as plantas de cada parcela foram podadas, e o peso fresco da biomassa do sombreiro (folhas e galhos) podado foi quantificado. Posteriormente, subamostras de 1 kg desses materiais foram retiradas, pesadas e secas em estufa de circulação forçada a 65°C, até atingir peso constante para determinação da matéria seca e determinação de C (Cantarella et al., 1999) e N (Tedesco, 1982). Em seguida foi feito à distribuição do material restante sobre o solo das parcelas.

4.4.8. Coletas

Da mesma forma que o experimento em aléias do capítulo I, foram feitas três coletas, a primeira por ocasião da antese em torno dos 35 dias após a germinação, a segunda no enchimento e a última na maturação dos grãos.

4.4.9. Determinações analíticas na planta

a) Parte aérea

De cada subparcela foram coletadas duas plantas/bloco, pesadas e separadas em bainha (colmo + caule) e folha para determinação da atividade da enzima nitrato redutase *in vivo* (Jaworski, 1971) e extração alcoólica (Fernandes, 1974) para posterior determinação das frações solúveis de N-NO_3^- (Cataldo et al, 1975), N-NH_4^+ (Mitchell, 1972) e aminoácidos livres (Yemm & Cocking, 1955), açúcares solúveis (Yemm & Willis, 1954). A matéria seca da parte aérea foi obtida pela determinação da massa seca em balança de precisão, após a secagem das plantas a 60°C em estufa de circulação forçada.

O nitrogênio total e protéico foi determinado pelo método Kjeldahl (Tedesco et al., 1998). Foram pesados 0,2g de material vegetal seco e moído e transferiu-se para tubos de digestão, no qual foram adicionados 1,5 ml de ácido sulfúrico concentrado, 1 ml de peróxido de hidrogênio 30% e 0,7g de mistura catalisadora (100g de sulfato de sódio, 10 g de sulfato de cobre e 1g de selênio). A temperatura foi aumentada de 25 em 25°C por aproximadamente 30 minutos até atingir 350°C. Para a destilação utilizou-se o volume de NaOH (50%) suficiente para neutralizar o ácido e deixar o meio alcalino, liberando assim amônia (NH_3), a qual foi fixada em solução indicadora de ácido bórico. Em seguida, fez-se a titulação com H_2SO_4 0,05N.

b) Grãos

A colheita do arroz foi efetuada manual e individualmente por unidade experimental quando os grãos encontravam-se maduros nos diferentes sistemas de manejo. Selecionou-se uma área de 2m² dentro de cada subparcela para coleta dos grãos de arroz (25 plantas/subparcela) e para o cálculo da produtividade as panículas foram pesadas, separando-se os grãos cheios e chochos, e feita a pesagem do arroz correspondente a cada área da subparcela (2m²), após a pesagem o arroz foi colocado para secar em estufa de circulação de ar por 48 horas a 60°C. Em seguida, determinou-se a massa dos grãos colhidos, o peso de 1000 grãos e foi calculada a produtividade de grãos (kg ha^{-1}).

Os grãos maduros e secos foram descascados e moídos e na farinha de arroz obtida determinou-se o N-total do grão e a percentagem de proteína bruta dos grãos através do N-total obtido por digestão sulfúrica (Tedesco, 1998), multiplicado por 5,95 (fator baseado em 16,8% de N da glutelina, a principal proteína de reserva do arroz – Juliano, 1985).

O conteúdo de N no grão (NG) foi calculado multiplicando-se o teor de N do grão pela massa seca do grão e o resultado expresso em gramas de N/kg de planta.

Foram calculados os índices de colheita do grão (ICG), índice de colheita de N (ICN) e a relação ICG/ICN obtidos respectivamente pela relação entre a produção de grãos e a massa de matéria seca total da planta e pela relação entre o conteúdo de N do grão (NG) e o conteúdo total de N na parte aérea (NTPL).

4.4.10. Determinações analíticas no solo

Assim como no capítulo I foram feitas três coletas de solo para verificar o “flush” ou “pool” de nitrato no solo no final do período seco e início do período chuvoso, nas seguintes épocas: dezembro/2007 e janeiro/2008, novembro e dezembro/2008 e novembro e dezembro/2009 em intervalos quinzenais. De cada área foram retiradas em zigue zague 15 subamostras de solo para formação das amostras compostas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm em quatro repetições adicionando-se em cada amostra uma pequena quantidade (mais ou menos 1mL) de tolueno para inibir a atividade microbiana, posteriormente essas amostras foram acondicionadas em geladeira até o procedimento de extração. Para determinação da concentração de N-NO_3^- , a extração foi feita com KCl 2M (Alves et al., 1994). Pesou-se 30g de solo em um erlenmeyer de 250 ml, adicionou-se 150 ml da solução de KCl 2 M agitando-se a 210 rpm por 1 hora. Após a decantação as amostras foram filtradas e guardadas em freezer até a determinação analítica.

A determinação da concentração de nitrato e amônio foi realizada segundo (Tedesco et al., 1985) utilizando-se 0,2 g de solo seco e peneirado. A destilação foi feita usando-se 0,2g MgO calcinado a 500°C para determinação do NH_4^+ e logo em seguida 0,2g da Liga de Devarda para determinação do NO_3^- utilizando-se o mesmo tubo empregado para a destilação do NH_4^+ . As frações de NH_4^+ e NO_3^- foram recolhidas em indicador com ácido bórico e determinadas através da titulação com ácido sulfúrico 0,005N. Por ocasião das coletas de solo foram separadas ainda amostras para determinação da umidade através do método da estufa a 105°C por 24 horas.

Os dados referentes à precipitação pluvial e temperatura do ar diárias dos meses em que foram feitas às coletas das amostras de solo durante os dois anos do experimento foram obtidos do acervo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – INPE/CPTEC acessado via internet pelo site <http://www.cptec.inpe.br> e National Centers for Environmental Prediction - NCEP (http://nomad3.ncep.noaa.gov/cgi-bin/pdisp_mp_r2.sh) (Figuras 52 a 57).

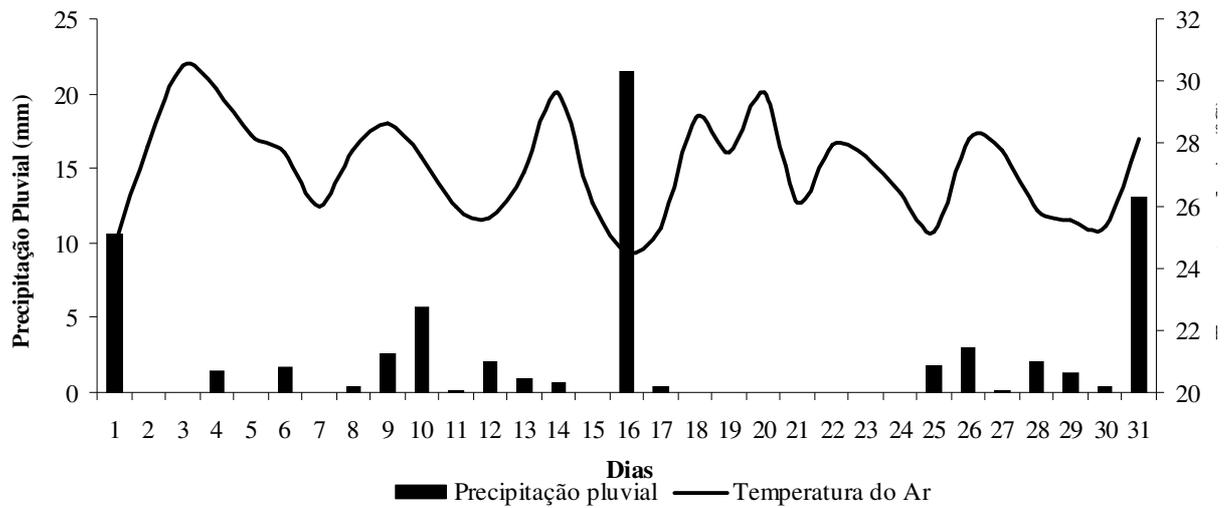


Figura 49 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar do município de Itapecuru Mirim-MA em dezembro de 2007.

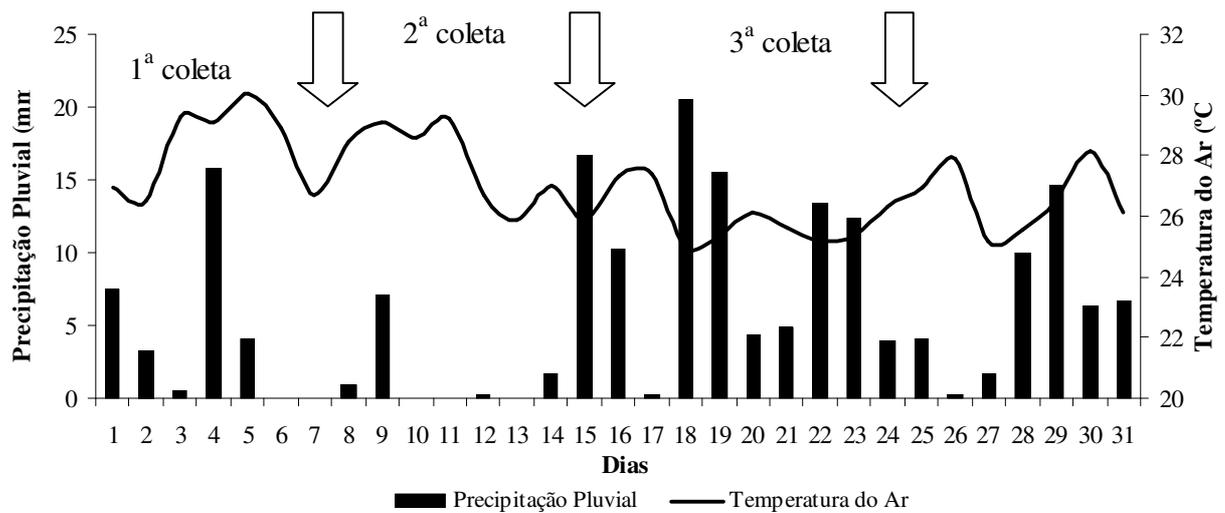


Figura 50 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar do município de Itapecuru Mirim-MA em janeiro de 2008.

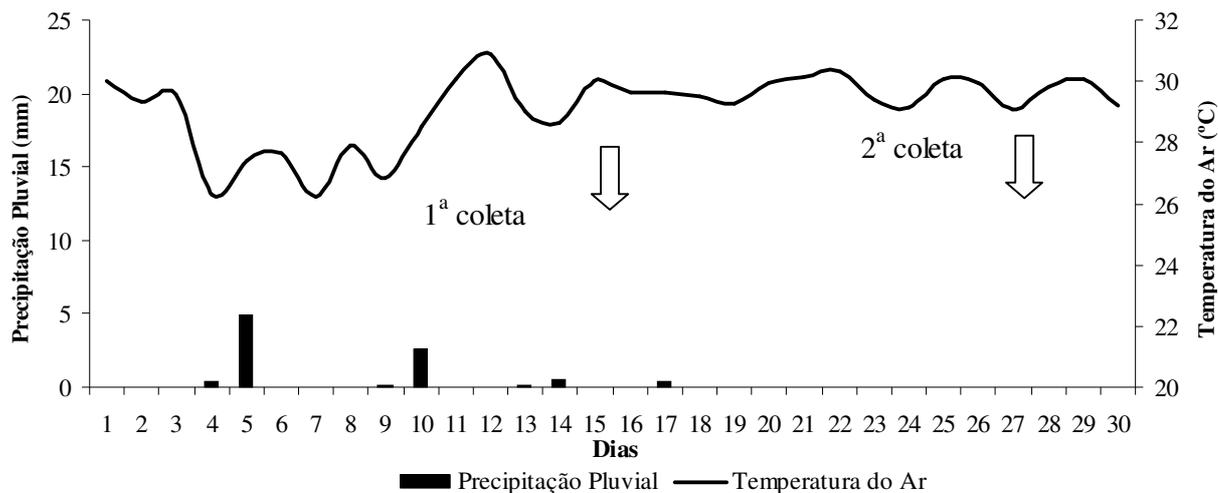


Figura 51 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar do município de Itapecuru Mirim-MA em novembro de 2008.

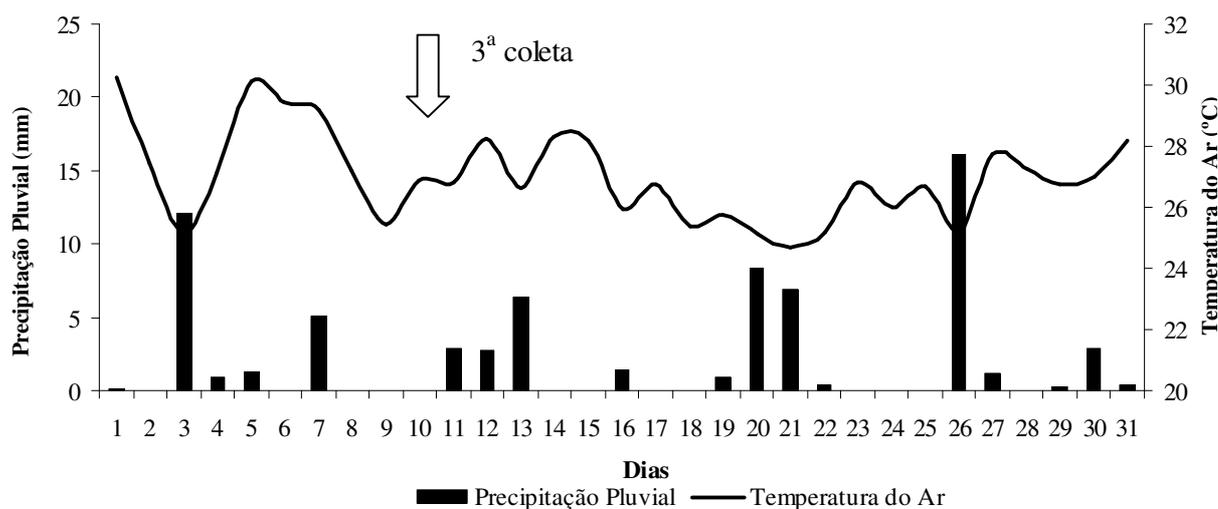


Figura 52 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar do município de e Itapecuru Mirim-MA em dezembro de 2008.

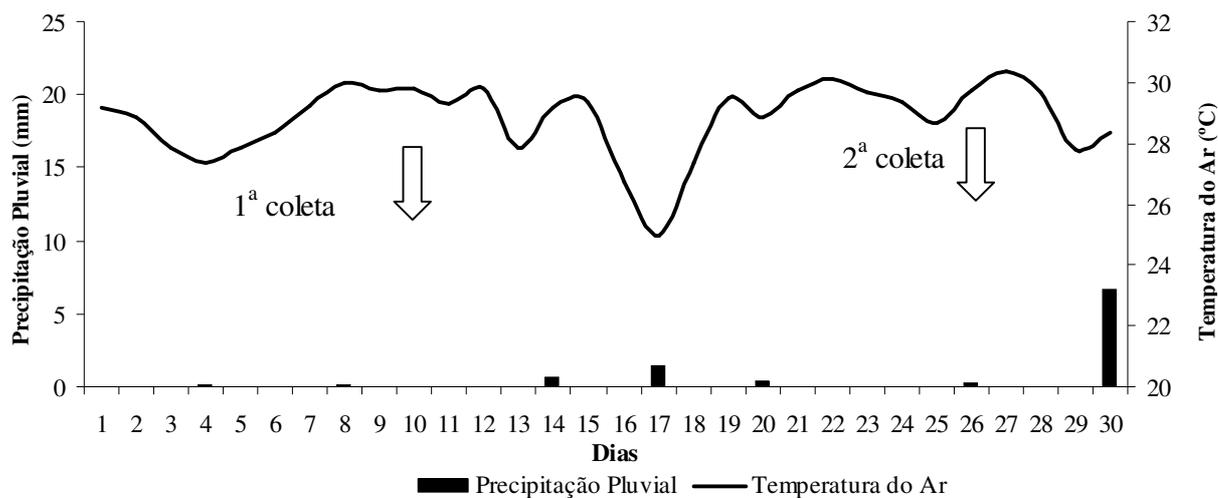


Figura 53 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em Itapecuru Mirim-MA em novembro de 2009.

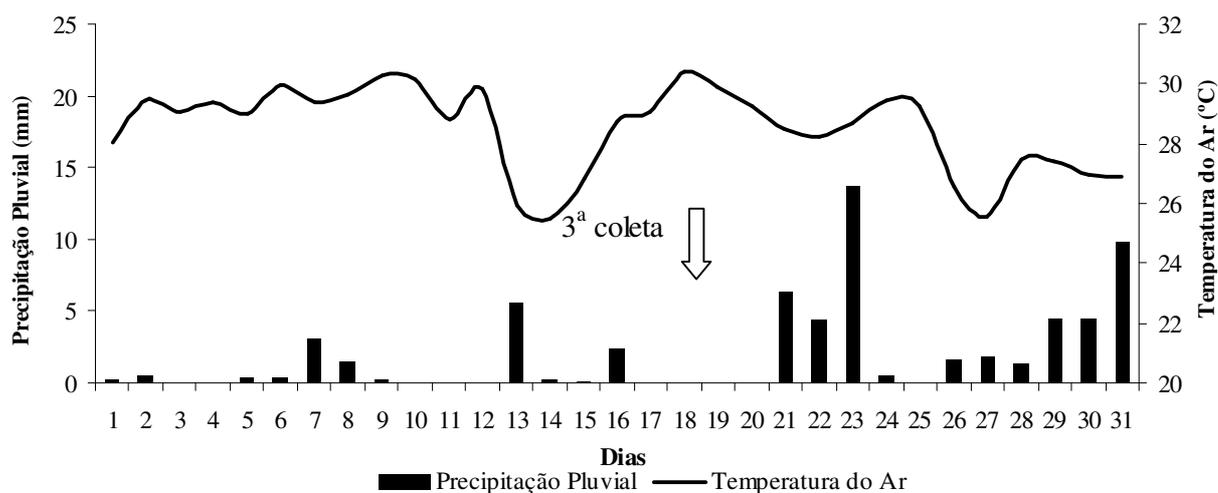


Figura 54 - Comportamento diário da precipitação pluvial e temperatura do ar em Itapecuru Mirim-MA em dezembro de 2009.

4.4.11. Análises estatísticas

Os dados foram analisados estatisticamente através do teste F, utilizando o programa estatístico SAEG 8,0. Quando significativo, as comparações entre as médias foram feitas pelo teste de DMS a 5% de probabilidade. Foram feitas também análise de correlação utilizando o SAEG 8,0.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em decorrência do volume de precipitação registrado durante a condução do experimento, o tipo de solo e a topografia do terreno, as áreas de cultivo convencional e de roça no toco, sofreram alagamento ficando as plantas de arroz com as raízes submersas durante grande parte do seu ciclo nos dois anos do experimento. Na área com sistema de manejo convencional o acesso ficou muito difícil não sendo possível efetuar as coletas e conseqüentemente efetuar as avaliações durante as três épocas determinadas. Assim, as plantas foram mantidas na área alagada e analisaram-se apenas os dados referentes à produtividade. Dessa forma, os resultados ora apresentados quanto ao metabolismo de N referem-se ao sistema de aléias tendo como testemunha o sistema de manejo de roça no toco. Quanto à produtividade compararam-se os três sistemas.

4.5.1. Fitomassa e acúmulo de N no sombreiro em aléias

Os resultados do rendimento médio de matéria fresca e seca produzida pelo sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) no sistema de manejo em aléias mostraram-se muito semelhante durante os dois de cultivo do arroz, contudo, no segundo ano a produção de biomassa seca foi ligeiramente superior (Tabela 34).

O nitrogênio proveniente da decomposição dos resíduos do *Clitoria fairchildiana* provavelmente foi mineralizado, tornando-se disponível ao solo resultando em maior aporte de N pela fitomassa e contribuindo para aumentar a disponibilidade de N para as plantas de arroz. Entretanto, a adição dos ramos do sombreiro não afetou positivamente o rendimento das variedades de arroz nos dois ciclos de cultivo, nem promoveu aumento significativo de produção.

As concentrações médias de N na biomassa do sombreiro (folhas+galhos finos) nos anos de 2008 e 2009 em que foi cultivado o arroz foram 33,01 e 35,90 g.kg⁻¹ respectivamente (Tabela 34). Em 2009, em razão da maior precipitação e maior produtividade de biomassa pelo sombreiro, os acúmulos de nitrogênio foram maiores.

Tabela 34 – Produção de massa fresca e seca (kg.ha⁻¹), teor de nitrogênio total, carbono e relação C/N dos ramos e folhas do sombreiro utilizado no sistema de cultivo em aléias em dois anos consecutivos, no município de Miranda do Norte – MA.

Leguminosa	Massa Fresca	Massa Seca	N-total	C	RelaçãoC/N
	kg.ha ⁻¹		g.Kg ⁻¹		
Ano 2008					
<i>Clitoria fairchildiana</i>	3.550	56,4	33,01	472,27	14,31
Ano 2009					
<i>Clitoria fairchildiana</i>	3.353	58,81	35,90	486,88	13,56

4.5.2. Produção de massa seca da parte aérea (folha, bainha e planta inteira) das plantas de arroz.

A produção de massa fresca e seca das partes aérea (folha e bainha) apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) nos sistemas de manejo avaliados nos dois anos de cultivo (Tabelas 35 a 38). Os resultados obtidos mostraram que houve variação nas produções de massa fresca e seca da parte aérea das duas variedades de arroz tanto no sistema em aléias quanto na roça no toco (Tabelas 35 e 36). No primeiro ano do experimento (2008), observou-se grande variabilidade na produção de massa fresca e seca e em geral o sistema que proporcionou maior produção foi o

sistema de cultivo em aléias, sendo que a variedade melhorada acumulou maiores quantidades de matéria fresca e seca quando comparada à variedade local (Tabela 35).

Tabela 35 - Valores médios de massa fresca e seca nas folhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
g/planta								
Peso de Massa Fresca								
Três Meses*	78,79	40,81	34,00	51,20 Aa	35,80	33,29	24,40	31,16 A b
Bonança**	69,34	45,72	11,67	42,24 Ba	34,87	33,70	22,76	30,44 Ab
Média	74,06 a	43,26 b	22,84 c		35,34 a	33,50 a	23,58 b	
Média		46,72 a				30,81 b		
Peso de Massa Seca								
Três Meses	16,95	12,14	7,13	12,07 Ba	5,34	11,21	7,71	8,09 Ab
Bonança	15,37	14,27	12,37	14,00 Aa	4,57	14,04	3,50	7,37 Ab
Média	16,16 a	13,21 b	9,75 c		4,95 b	12,63 a	5,61 b	
Média		13,04 a				7,73 b		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste DMS ao nível de 5% de Probabilidade. *Variedade local **Variedade Melhorada

No segundo ano (2009), observou-se que no sistema em aléias inicialmente a variedade local (Piauí) apresentou um maior desenvolvimento foliar com maior peso fresco, a partir da segunda coleta a variedade melhorada (IAC-47) apresentou-se mais desenvolvida (Tabela 37). Na roça no toco no geral a variedade melhorada foi superior.

Quanto à produção de massa seca os resultados obtidos foram muito variados e apesar da diferença entre os sistemas de manejo na mesma variedade, observou-se entre as variedades o mesmo comportamento encontrado para massa fresca. As plantas das duas variedades crescidas no sistema em aléias apresentaram maior desenvolvimento quando comparada às plantas crescidas no sistema de roça no toco (Tabela 38) evidenciando a atuação do elemento arbóreo do sistema em aléias como adubo verde considerando que somente a fertilidade natural do solo não seria suficiente para o crescimento das plantas.

Tabela 36 - Valores médios de massa fresca e massa seca das bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
g/planta								
Peso de Massa Fresca								
Três Meses*	84,97	118,77	118,49	107,41 Aa	40,54	45,34	27,86	37,91 Ab
Bonança**	100,20	112,34	36,69	85,74 Ba	35,24	35,72	32,35	34,44 Ab
Média	96,59 b	115,56 a	77,59 c		37,89 a	40,53 a	30,11 b	
Média		96,58 a				36,18 b		
Peso de Massa Seca								
Três Meses	18,81	17,57	11,66	16,01 ns	5,94	15,95	4,77	8,82 ns
Bonança	20,10	19,95	12,15	17,40 ns	9,80	9,93	7,05	8,93 ns
Média	19,46 a	18,76 a	11,91 b		7,87 b	12,94 a	5,91 c	
Média		16,71 a				8,91 b		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade. *Variedade local **Variedade Melhorada.

Tabela 37 - Valores médios de massa fresca e massa seca das folhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
g/planta								
Peso de Massa Fresca								
Piauí*	61,15	53,68	49,78	54,87 Aa	28,30	28,39	35,94	30,88 Ab
IAC-47**	49,58	57,06	31,00	45,88 Ba	26,52	30,02	35,67	30,74 Ab
Média	55,36 a	55,37 a	40,39 b		27,41 b	29,21 b	35,81 a	
Média		30,37 ns				30,81 ns		
Peso de Massa Seca								
Piauí	4,80	11,60	11,12	9,17 Bb	4,00	17,30	9,22	10,17 Ba
IAC-47	5,29	19,02	12,24	12,18 Aa	4,91	22,92	5,36	11,06 Ab
Média	5,05 c	15,31 a	11,68 b		4,46 c	20,11 a	7,29 b	
Media		10,68 ns				10,62 ns		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade. *Variedade local **Variedade Melhorada.

Tabela 38 - Valores médios de massa fresca e massa seca das bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
g/planta								
Peso de Massa Fresca								
Piauí*	83,53	153,93	78,68	105,38 Aa	41,56	59,51	61,35	54,14 Bb
IAC-47**	73,38	140,22	106,48	106,69 Aa	59,27	60,63	77,56	65,82 Ab
Média	78,46 c	147,08 a	92,58 b		43,00 c	60,07 b	69,46 a	
Média		106,04 a				57,51 b		
Peso de Massa Seca								
Piauí	5,09	31,66	23,72	20,16 Ab	4,69	48,59	28,74	27,34 Aa
IAC-47	5,53	24,56	19,81	16,63 Bb	5,33	54,76	26,76	28,95 Aa
Média	5,31 c	28,11 a	21,76 b		5,01 c	51,67 a	27,75 b	
Média		21,76 b				28,14 a		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMSC ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local **Variedade Melhorada

4.5.3. Atividade da nitrato redutase

A atividade da nitrato redutase variou significativamente ($p < 0,05$) entre as variedades de arroz, sistemas de manejo e época de amostragem (Tabelas 39 e 40). Nas condições testadas a análise dos resultados da atividade da enzima NR em função do sistema de manejo do solo permitiu verificar que no primeiro ano de cultivo (2008) os maiores valores médios para a atividade desta enzima ocorreu nas plantas procedentes da área com leguminosas em aléias (Figura 55), independente da variedade, indicando disponibilidade de NO_3^- no solo. A adição dos ramos das leguminosas como fonte nitrogenada favoreceu a atividade da enzima em decorrência da maior taxa de matéria orgânica, pois segundo Galangau et al. (1988) e Vicentz et al. (1993) a enzima é ativada pela presença do substrato. Na área queimada sob sistema de manejo com roça no toco, as plantas além de menos desenvolvidas que as cultivadas no sistema em aléias apresentaram atividade da enzima mais baixa. No segundo ano, contrariando os resultados obtidos anteriormente, a maior atividade da NR foi observada no sistema de corte e queima (roça no toco) praticado pelos agricultores familiares (Figura 56).

Foram observadas variação na atividade da enzima NR em função da época de amostragem sendo significativas as diferenças entre as folhas e bainhas nas diferentes fases de desenvolvimento das plantas (Tabelas 39 e 40). No geral a atividade foi baixa, aumentando no período de enchimento dos grãos, correspondendo ao período de alta demanda de metabólitos e nutrientes dos drenos, com redução da atividade ao final do ciclo da cultura para todas as variedades. Nos estádios finais de maturação dos grãos a absorção de NO_3^- diminuiu e conseqüentemente houve redução na atividade da nitrato redutase (Figuras 57 e 58). Esse comportamento foi observado para todas as variedades nos dois sistemas de manejo.

Os maiores valores para a atividade da enzima foram observados para as folhas que não variaram significativamente entre as variedades tanto no primeiro quanto no segundo ano de

cultivo obtendo-se o valor máximo nas folhas das variedades melhoradas (Bonança e IAC-47) que apresentaram também maior massa de matéria fresca nas condições de cultivo. As bainhas apresentaram os valores mais baixos e diferiram entre si ($p < 0,05$) e as variedades locais, Três Meses e Piauí, registraram maior atividade da enzima nesse tecido da planta (Figuras 59 e 60). Assim como no capítulo anterior tais resultados nos permite sugerir que a menor atividade da nitrato redutase nas bainhas pode ter sido responsável pelo acúmulo de nitrato nesses tecidos e fica evidenciado ser a folha o principal sítio ativo para redução do nitrato em arroz.

Tabela 39 – Atividade da Nitrato Redutase na folha e bainha de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
$\mu\text{moles NO}_2^- \cdot \text{g}^{-1}$ de massa fresca $\cdot \text{h}^{-1}$								
Folha								
Três Meses*	0,282	0,606	0,263	0,384	0,205	0,573	0,020	0,266
Bonança**	0,459	0,588	0,334	0,460	0,327	0,552	0,030	0,303
Média	0,371 b	0,597 a	0,299 c		0,266 b	0,563 a	0,025 c	
Média		0,422 a				0,285 b		
Bainha								
Três Meses	0,151	0,342	0,140	0,211 Aa	0,055	0,414	0,015	0,161 Aa
Bonança	0,119	0,266	0,120	0,168 Ba	0,055	0,220	0,016	0,097 Bb
Média	0,135 b	0,304 a	0,130 b		0,055 b	0,344 a	0,016 c	
Média		0,190 a				0,138 b		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local. **Variedades Melhorada.

De acordo com Carelli et al. (2006) a absorção de NO_3^- associada às fases fenológicas de desenvolvimento da cultura pode ser um importante fator no controle da atividade da nitrato redutase foliar independente de variações promovidas por condições ambientais sazonais.

Assim, é provável que a atividade da nitrato redutase tenha apresentado variações sazonais relacionadas com o regime de chuva e consequentemente com o conteúdo de água no solo, na qual os maiores valores da atividade da nitrato redutase e provavelmente maior absorção de NO_3^- ocorreram durante as variações de estações quente e úmida durante o período chuvoso, quando períodos de alta temperatura e elevada evapotranspiração também ocorreram, tais condições podem ter aumentado o influxo de água e consequentemente aumentado o influxo de nitrato para as folhas que favoreceu a atividade da nitrato redutase.

Vale ressaltar que o período de condução do experimento coincidiu com os maiores índices pluviométricos e de temperatura, correspondentes aos meses de março e abril no primeiro ano e abril e maio no segundo ano (Figuras 47 e 48). No ano de 2009, houve uma distribuição atípica das chuvas com altas temperaturas e alta nebulosidade, com baixos índices de radiação solar (Figura 48). Tais condições podem comprometer a fotossíntese em função de limitações estomáticas das folhas.

Huber et al. (1992) relacionaram a taxa fotossintética à atividade da nitrato redutase. Existe uma interdependência entre a fotossíntese líquida e a absorção de nitrato: em condições não limitantes de nitrato no solo, esse processo é regulado pela quantidade de fotossintetizados

translocados para as raízes (Jackson et al., 1986). Por sua vez, as condições fisiológicas, característica de cada variedade, e as condições de manejo a que foram submetidas são ou podem ser diferentes para cada variedade estudada, e esses fatores podem ser determinantes ao se comparar a eficiência da enzima nitrato redutase.

Além da luminosidade e da temperatura, a atividade da nitrato redutase é influenciada pela concentração de nitrato no substrato (Mengel & Kirkby, 2001). Desta forma, é interessante destacar também que no sistema de roça no toco, por ocasião da segunda coleta (enchimento dos grãos), parte da área já se encontrava alagada com isso, nas condições de umidade e oxidação sobre as quais o solo foi mantido, e por se tratar de um solo com baixos níveis de matéria orgânica, a taxa de hidrólise da matéria orgânica tenderia a ser baixa e provavelmente o amônio liberado foi lentamente oxidado a nitrato, contribuindo para a baixa atividade da nitrato redutase.

No entanto, mesmo em condições de alagamento, as plantas cultivadas no sistema de roça no toco permaneceram vigorosas até o fim do experimento, embora com crescimento reduzido. Segundo Wiedenroth (1993) e Asmstrong et al. (1994), esta pode ser uma estratégia para economizar energia e manter funções mínimas do metabolismo nas regiões afetadas pela hipoxia.

Tabela 40 – Atividade da Nitrato Redutase na folha e bainha de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
$\mu\text{moles NO}_2^- \cdot \text{g}^{-1}$ de massa fresca.h ⁻¹								
Folha								
Piauí*	0,099	0,384	0,031	0,146	0,269	0,952	0,263	0,495
IAC-47**	0,140	0,121	0,080	0,233	0,233	1,031	0,287	0,517
Média	0,119 b	0,403 a	0,055 b		0,135 c	0,992 a	0,275 b	
Média		0,192 b				0,467 a		
Bainha								
Piauí	0,085	0,549	0,065	0,231 Aa	0,084	0,231	0,068	0,128 Ab
IAC-47	0,070	0,300	0,067	0,122 Ba	0,039	0,219	0,062	0,107 Ab
Média	0,078 b	0,425 a	0,066 b		0,062 b	0,225 a	0,065 b	
Media		0,190				0,117		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade. *Variedade local**Variedade Melhorada.

No alagamento as plantas ficam com as raízes submersas no período de enchimento e parte da maturação dos grãos. Nessas condições, a atividade enzimática varia devido a diminuição da disponibilidade de O₂ no meio e as plantas cultivadas no sistema de roça no toco tiveram menor atividade da NR. Contudo, no segundo ano do experimento, a atividade da nitrato redutase tanto nas folhas como nas bainhas não sofreu grandes variações em decorrência da diminuição da disponibilidade de O₂, destacando-se em relação ao sistema de manejo em aléias sendo constatado um ligeiro aumento da atividade na NR nas variedades melhoradas (Figuras 55 e 56).

De um modo geral, para as plantas de arroz, que eram variedades de sequeiro o principal efeito imposto pela inundação é o impedimento das trocas gasosas entre o sistema radicular e o espaço poroso do solo. A entrada da água na área de cultivo causa diversas alterações no solo, tanto de ordem física, pela expulsão do oxigênio e desagregação do solo, como biológica, pela

modificação do metabolismo microbiano predominante passando de aeróbio na presença de oxigênio para anaeróbio na ausência de oxigênio, e química, decorrente da alteração do estado redox e do pH do solo, com reflexos diretos sobre a disponibilidade de nutrientes e sobre a dinâmica da MOS. Todos esses processos afetam a dinâmica do N e, conseqüentemente, dificultam a predição da disponibilidade deste nutriente para a cultura do arroz. Quando sob condições de baixa disponibilidade de O₂, a diminuição da atividade da NR deve-se provavelmente a falta de oxigênio no solo que interferirá na absorção do nitrato do solo, ocasionando uma diminuição do nitrato que vai para as folhas (Taiz & Zeiger, 2004).

Ano 2008

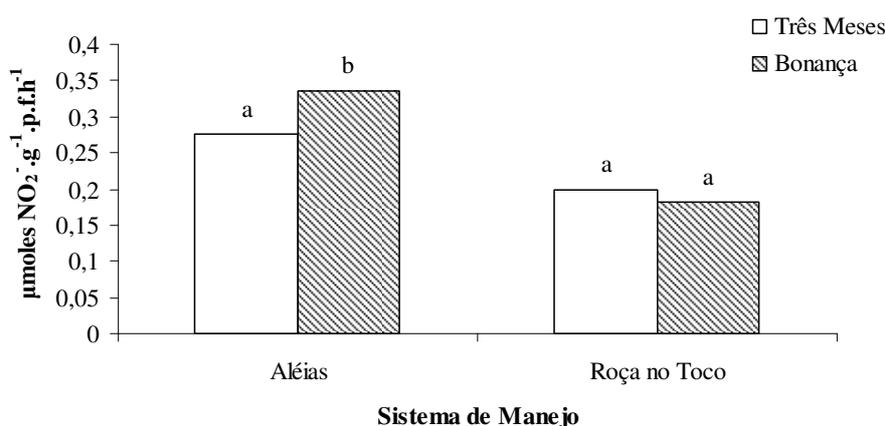


Figura 55 - Atividade da Nitrato Redutase nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2008. Letras iguais para o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Ano 2009

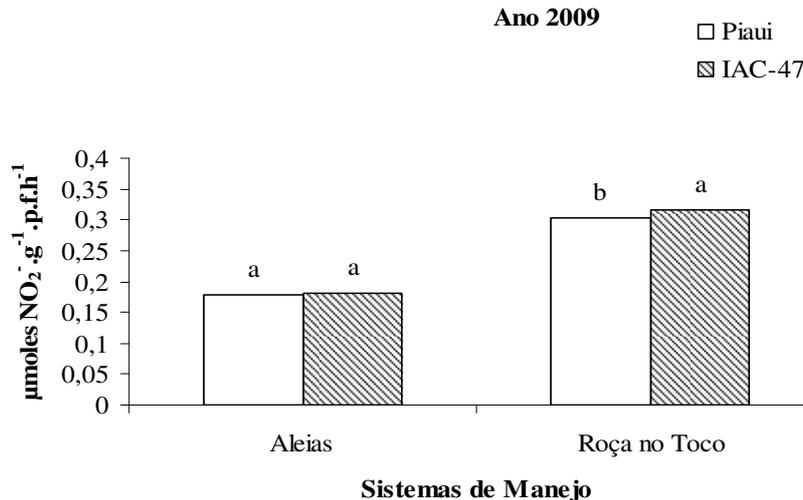


Figura 56 - Atividade da Nitrato Redutase nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5%.

Embora o sistema de manejo em aléias e a roça no toco sejam ambientes bem distintos quanto à dinâmica de deposição e decomposição de resíduos e microclima, a manutenção da estrutura física do solo sob esses sistemas parece ser a responsável pela manutenção dos teores de C e N, permitindo que haja diminuição de macroagregados e, conseqüentemente, maior estabilização e estocagem de N do solo. No sistema em aléias a matéria orgânica é o principal

componente para melhorar a qualidade do solo, enquanto que na roça no toco, o uso agrícola do solo tem levado a alterações significativas na qualidade da matéria orgânica.

Ano 2008

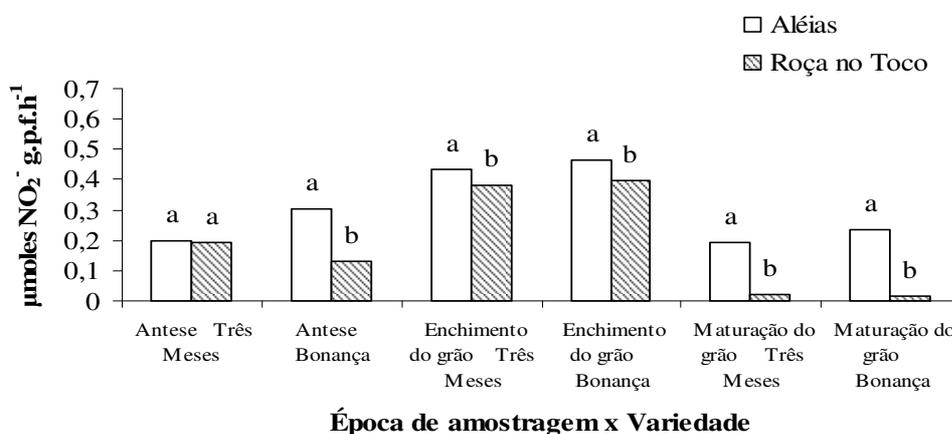


Figura 57 - Atividade da Nitrato Redutase nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e Roça no Toco) em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2008. Letras iguais para o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Ano 2009

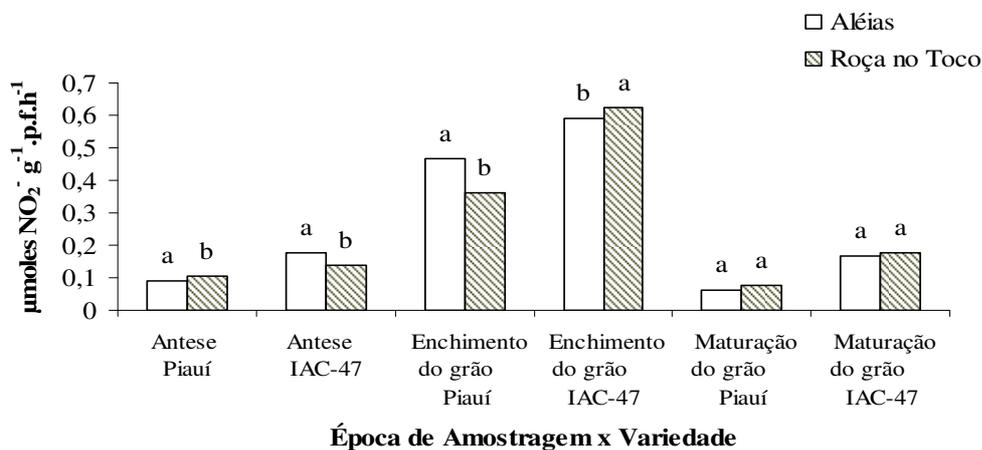


Figura 58 - Atividade da Nitrato Redutase nas variedades de arroz Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e Roça no Toco) em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009. Letras iguais para o mesmo sistema de manejo não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

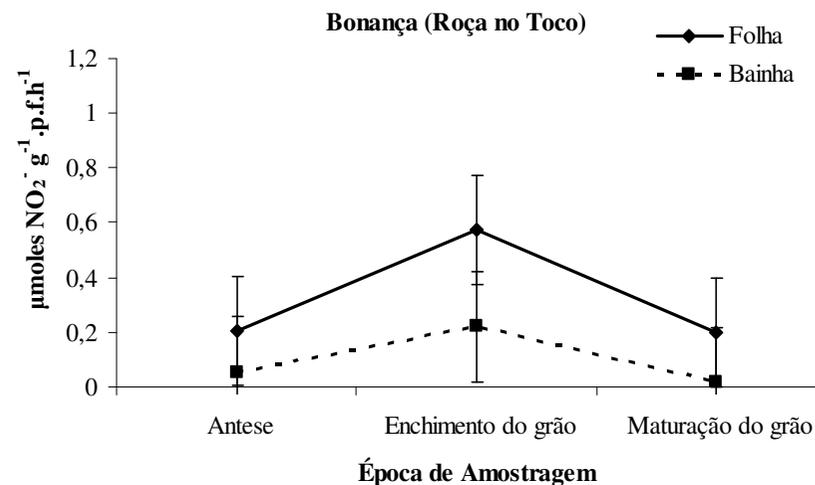
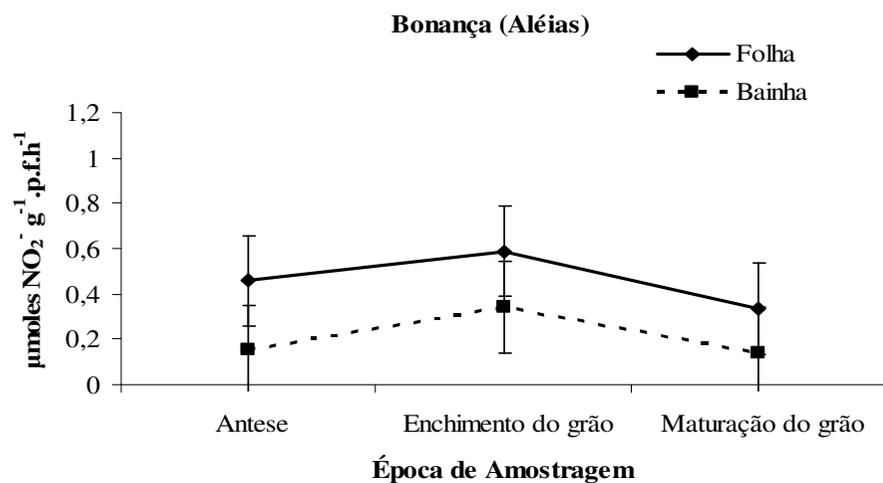
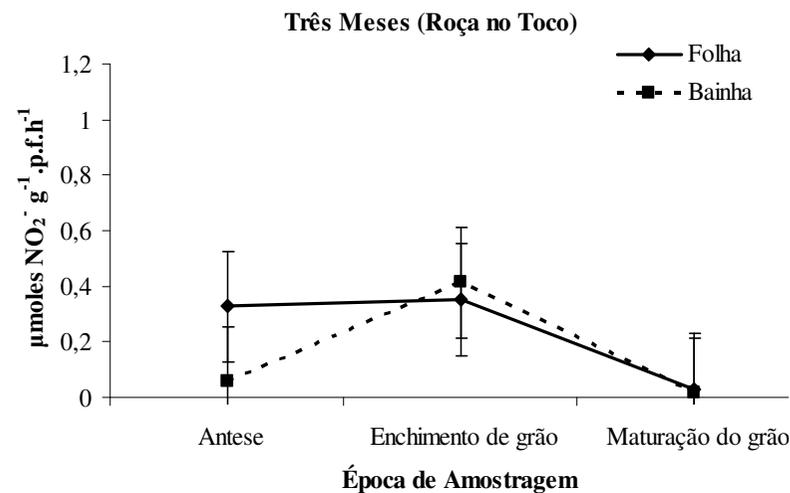
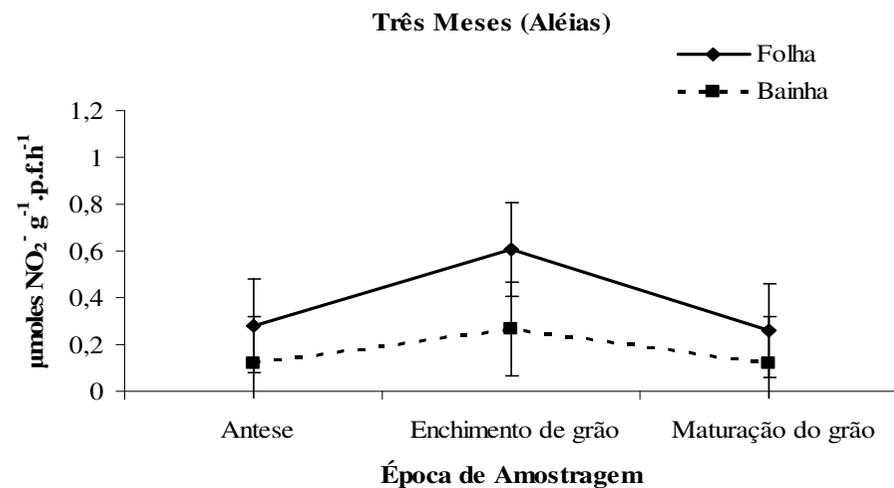


Figura 59 - Atividade da Nitrato Redutase nas folhas e bainhas das variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte-MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2008.

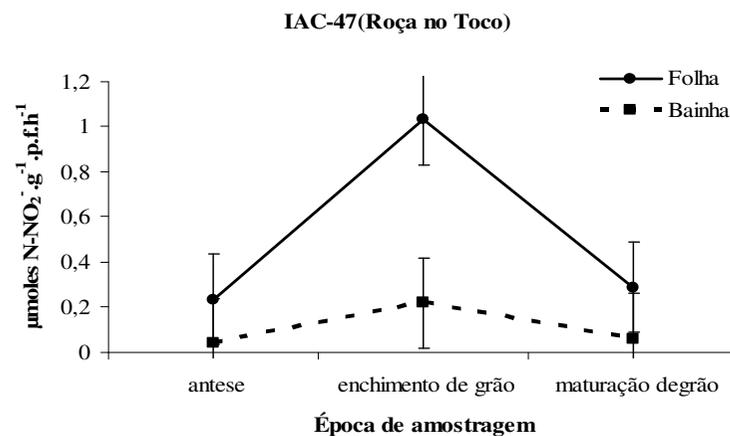
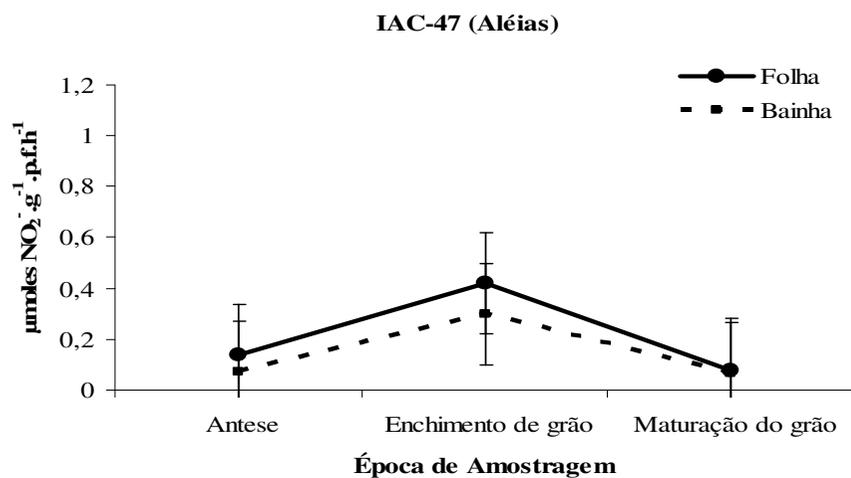
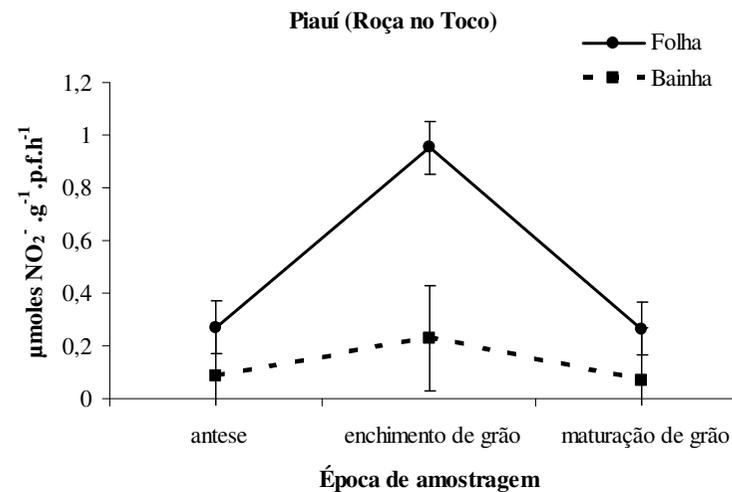
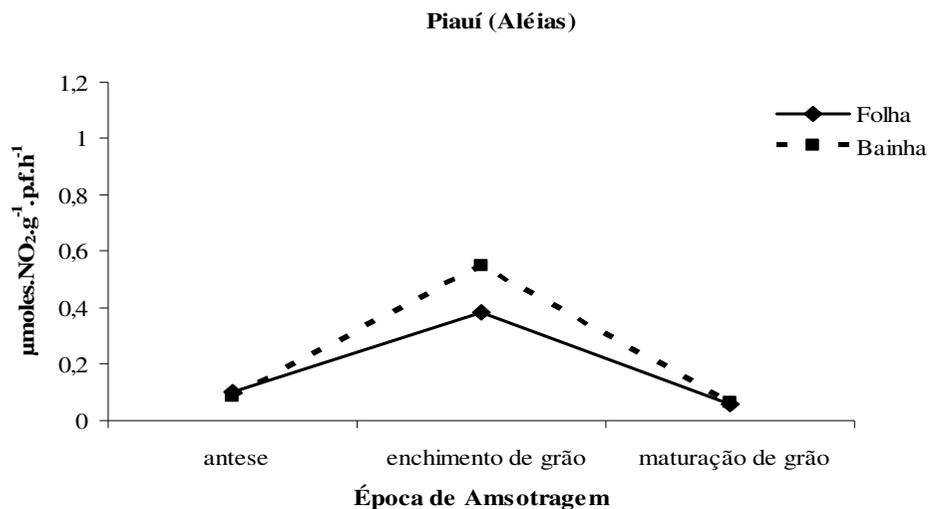


Figura 60 - Atividade da Nitrato Redutase nas folhas e bainhas das variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte-MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2009.

4.5.4. Metabolismo de nitrogênio em arroz em sistema de cultivo em aléias e roça no toco (corte e queima)

a) Teor de amônio

Nas folhas e bainhas das variedades locais e melhoradas de arroz, não foram encontradas diferenças significativas nos teores de N-NH_4^+ no primeiro ano do experimento, entre os manejos, variedades e diferentes épocas (Tabela 41). As concentrações foram baixas e as variedades apresentaram comportamento similar quanto às concentrações de N-NH_4^+ , na folha e na bainha

No segundo ano, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os manejos, variedades e épocas de amostragem (Tabela 42). Da mesma forma do ano anterior observaram-se baixos teores de N-NH_4^+ nas folhas e bainhas das duas variedades de arroz e as plantas cultivadas no sistema de roça no toco apresentaram teores mais elevados de N-NH_4^+ em todas as partes analisadas da planta, em ambas as variedades com elevadas concentrações desse íon ao final do ciclo da planta.

Sabe-se que a queima da vegetação enriquece a camada superficial do solo em vários nutrientes. Por acelerar a mineralização pelo calor do fogo e enriquecer o solo pelas cinzas, além de causar decréscimo no teor de alumínio, a queimada é vista como tendo efeito benéfico. Dentre os nutrientes, o nitrogênio é o mais estudado, e seu ciclo se modifica com a queima, aumentando a quantidade de N amoniacal, o qual é nitrificado rapidamente, podendo ser lixiviado.

Considerando-se as condições de alagamento da área, esses resultados podem ser justificados pela dinâmica do N no solo, uma vez que em solos alagados a decomposição anaeróbica da MOS ocorre de forma mais lenta do que em solos drenados porque um grupo menor e menos eficiente de bactérias realizam essa função nestas condições (Vahl, 1999). A ausência de O_2 interrompe o processo de nitrificação, favorecendo o acúmulo de NH_4^+ no ambiente alagado, exceto nas zonas oxidadas que ainda podem fornecer NO_3^- ao solo nestas condições.

Assim, a partir do início do alagamento do solo, os teores de amônio na solução do solo aumentam e os teores de nitrato diminuem. Isto se deve às modificações nos processos biológicos e no potencial redox do solo, o que favorece a amonificação, em detrimento da nitrificação. Desta forma, em ambientes alagados, o N tende a se acumular sob a forma de amônio.

Com relação às diferentes épocas de amostragem inicialmente os teores de N-NH_4^+ foram baixos e as maiores concentrações foram obtidas no período de enchimento dos grãos para todas as variedades nos dois anos de cultivo indicando que nesse estágio houve uma maior atividade metabólica de redução do nitrato absorvido. No final do ciclo da cultura ocorreu uma queda nas concentrações de N-NH_4^+ (Figuras 71 e 72). Segundo Rheinheimer et al. (2003), logo após a queima, especialmente na camada superficial, há um decréscimo na concentração de N-NH_4^+ seguido de um súbito aumento, cerca de 60 dias após a queima, o que justifica os baixos teores encontrados por ocasião da antese. Esse comportamento parece estar de acordo com o aumento nos processos de nitrificação estimulado pelo calor da queima, havendo um incremento posterior, correspondendo aos processos de mineralização subseqüentes. No final do ciclo, os níveis de N-NH_4^+ voltam a cair a valores próximos do inicial. De acordo com esses autores, as possíveis perdas de N por volatilização podem ser compensadas por ganhos estimulados por um aumento na atividade bacteriana do solo logo após um período de queimada.

Com relação às concentrações nas folhas e bainhas das variedades de arroz verificou-se os maiores acúmulos de N-NH_4^+ nas folhas havendo diferença significativa apenas nas bainhas (Figuras 73 e 74). No segundo ano ocorreram algumas oscilações, inclusive com ligeiro aumento no teor de N-NH_4^+ no final do ciclo por ocasião da maturação dos grãos. Essa alteração no metabolismo do amônio pode estar associado às condições adversas a que as plantas foram submetidas, uma vez que parte do ciclo as mesmas foram mantidas sob condições de alagamento.

Entre os sistemas de manejo, na roça no toco foram observados maiores acúmulos de N-NH_4^+ nas folhas e bainhas, mostrando-se superior ao sistema com aléias, nos dois anos do experimento para essas variedades (Figuras 75 e 76). A provável razão pode ser à queima da vegetação que enriquece o solo da camada superficial na maioria dos nutrientes por acelerar a

mineralização. Em curto prazo, o fogo torna-se um agente de mineralização aumentando a disponibilidade de nutrientes para o crescimento das plantas, especialmente em profundidades superficiais, devido às cinzas com alta concentração de P, K e Ca.

Tabela 41 – Teor de $N-NH_4^+$ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
$\mu\text{moles } N-NH_4^+ \cdot g^{-1}$ de massa fresca								
Folha								
Três Meses*	1,85	2,32	1,45	1,87	2,54	3,19	2,58	2,77
Bonança**	1,75	2,66	1,87	2,09	2,91	3,02	2,39	2,77
Média	1,80	2,49	1,66		2,73	3,12	2,48	
Média		1,98				2,78		
Bainha								
Três Meses	1,52	2,52	1,44	1,83 Aa	1,22	2,58	2,22	2,01 Ba
Bonança	1,57	2,21	1,71	1,83 Ab	1,82	3,40	2,62	2,61 Aa
Média	1,55	2,37	1,58		1,52	2,99	2,42	
Média		1,83				2,31		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade. *Variedade local **Variedade Melhorada.

Tabela 42 – Teor de $N-NH_4^+$ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
$\mu\text{moles } N-NH_4^+ \cdot g^{-1}$ de massa fresca								
Folha								
Piauí*	0,21	0,56	0,23	0,33	1,45	2,80	2,53	2,26
IAC-47**	0,49	0,59	0,12	0,40	2,27	2,89	2,78	2,65
Média	0,35 a	0,58 a	0,18 b		1,86 b	2,85 a	2,66 a	
Média		0,37 b				2,46 a		
Bainha								
Piauí	0,21	0,56	0,29	0,35 Bb	1,54	2,67	2,93	2,38 Aa
IAC-47	0,45	0,62	0,64	0,46 Ab	2,62	1,74	1,75	2,04 Ba
Média	0,33	0,59	0,47		2,08	2,21	2,34	
Media		0,46 b				2,21 a		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade. *Variedade local **Variedade Melhorada.

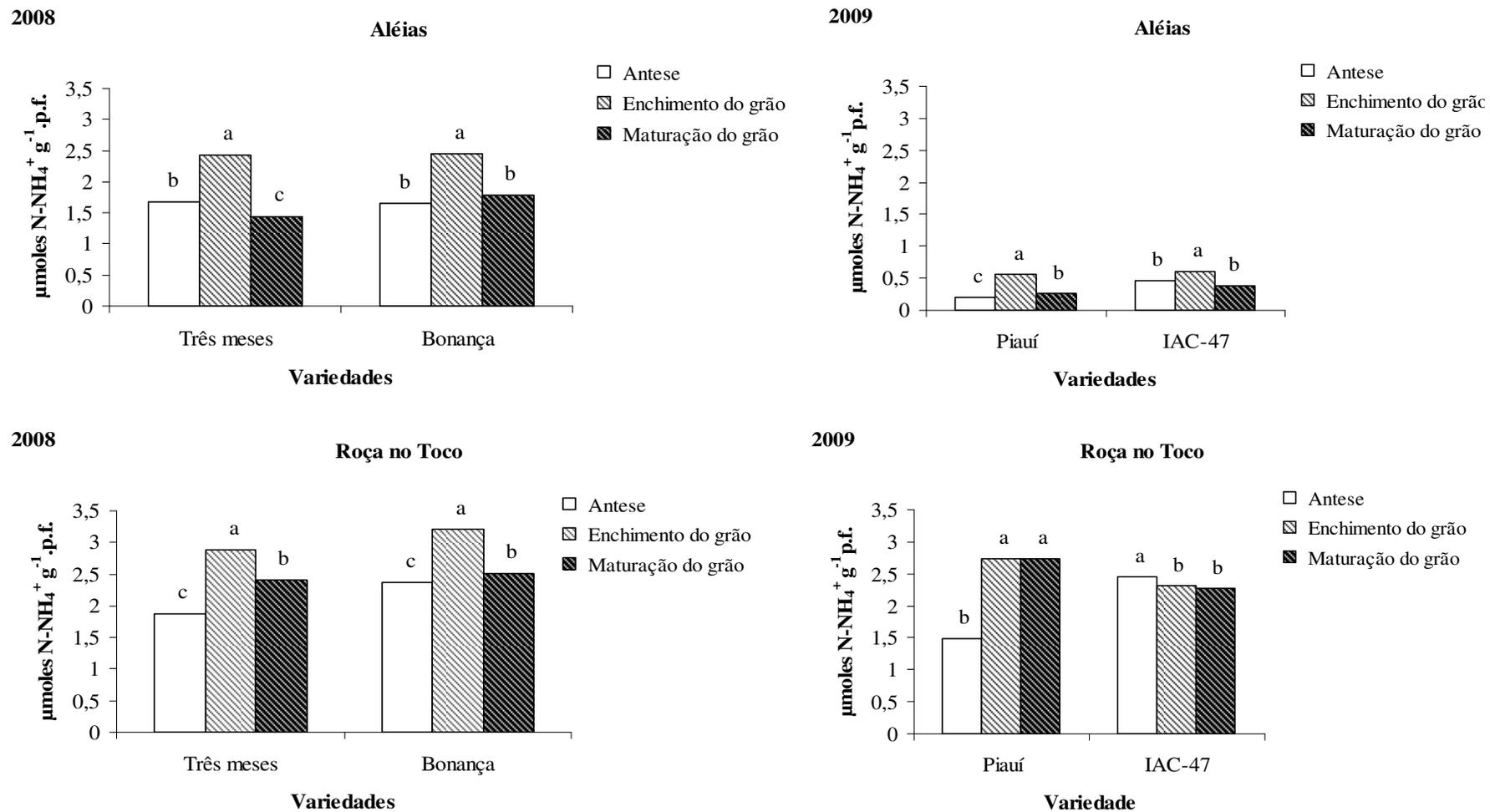
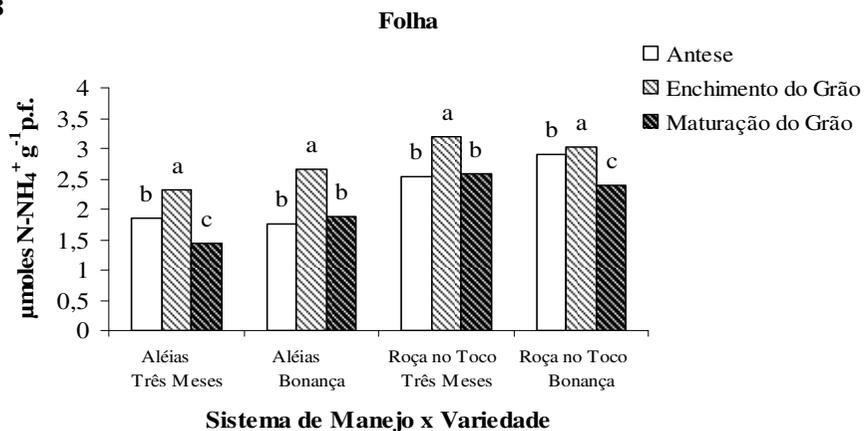
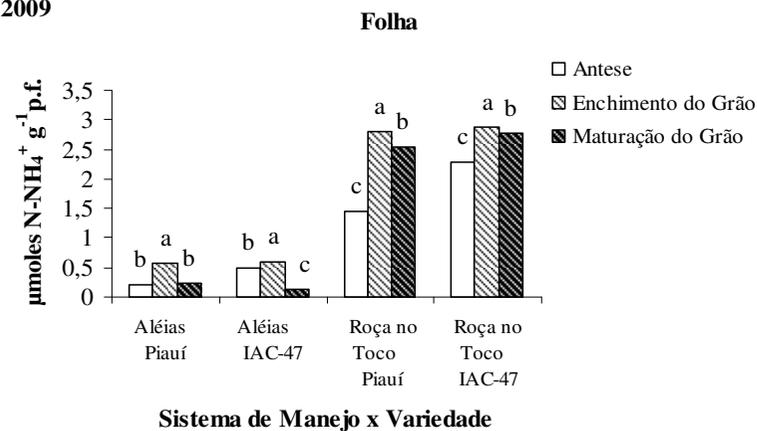


Figura 61 - Teor de $N-NH_4^+$ nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos), nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo Teste de DMS a 5% de probabilidade.

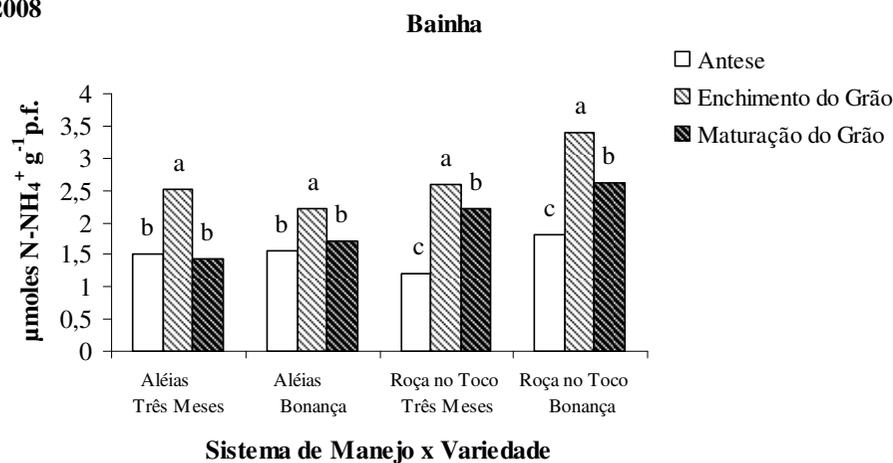
2008



2009



2008



2009

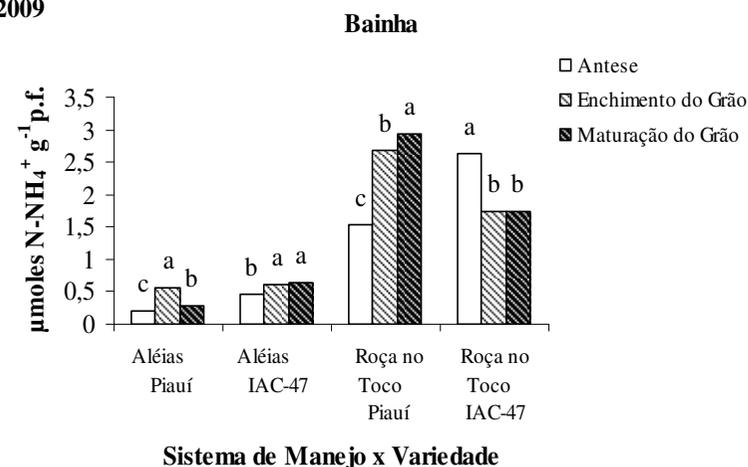


Figura 62 - Teor de $N-NH_4^+$ nas folhas e bainhas das variedades de arroz TrêsMeses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

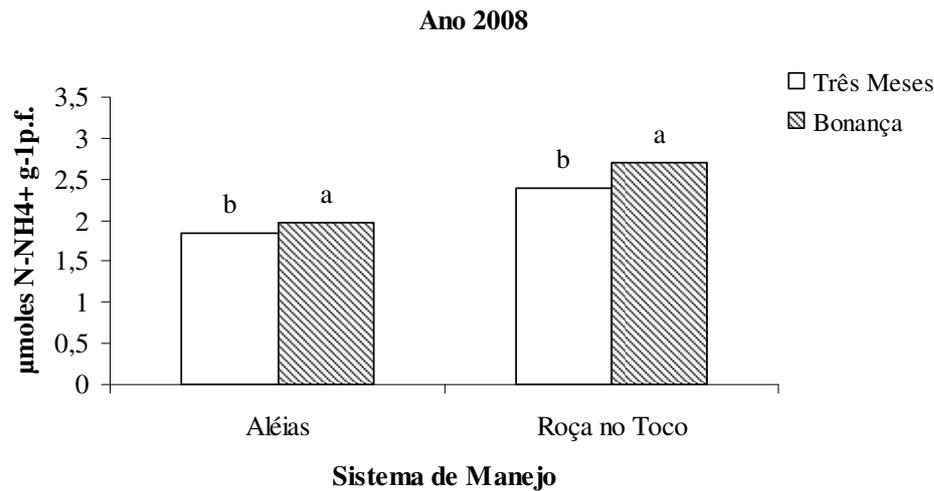


Figura 63 - Teor de N-NH₄⁺ nas variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA no ano de 2008. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

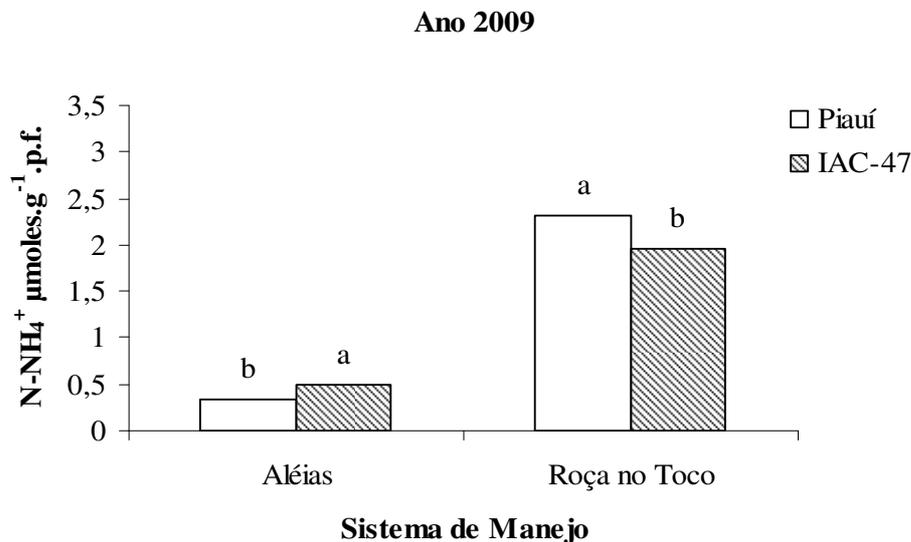


Figura 64 - Teor de N-NH₄⁺ nas variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

b) Teor de nitrato

Os resultados do primeiro ano do experimento não mostraram variações significativas ($p > 0,05$) na concentração de N-NO₃⁻ nas folhas e bainhas entre as variedades de arroz e sistema de manejo em aléias e roça no toco, com tendência de maiores teores no sistema em aléias (Tabela 43). As concentrações de N-NO₃⁻ foram no geral mais elevadas que os encontrados para o amônio variando de 7,79 a 12,17 µmmoles N-NO₃⁻.g⁻¹ de massa fresca e mais elevadas na variedade local (Três Meses) o que pode indicar uma menor atividade metabólica de redução do nitrato absorvido por esta variedade. Tanto na folha como na bainha houve um decréscimo contínuo no conteúdo de nitrato no final do ciclo da cultura, o que sugere a utilização do nitrato acumulado.

No segundo ano do experimento, os teores de nitrato encontrados também foram mais elevados nas plantas desenvolvidas no sistema de manejo em aléias e em geral, a variedade local (Piauí) apresentou teores mais elevados que a variedade melhorada (IAC-47), confirmando a

tendência seguida para atividade da enzima nitrato redutase (Tabela 44). De acordo com os resultados, as variedades locais parecem possuir maior eficiência de uso do N-NO_3^- , pois acumularam mais N-NO_3^- na parte aérea e apresentaram menor atividade da nitrato redutase, sendo os maiores acúmulos verificados nas folhas, sugerindo que o N-NO_3^- absorvido não foi prontamente reduzido, sendo uma parte acumulada no vacúolo para ser utilizada posteriormente.

No sistema de roça no toco, os teores foram baixos e as variedades apresentaram comportamento diferenciado. De uma maneira geral, as plantas do sistema de manejo em aléias acumularam maiores quantidades de N-NO_3^- nos tecidos vegetais quando comparado ao sistema de roça no toco (Tabelas 43 e 44). Essa tendência ocorreu tanto no primeiro quanto no segundo ano de cultivo, o que demonstra que existem diferenças entre os sistemas de manejo estudados tanto na capacidade de mineralização do nitrogênio (N), quanto no metabolismo de N nas plantas de arroz embora sem efeito significativo. As plantas da área queimada (roça no toco) absorveram menos, porém não diferiram das plantas da área com leguminosas em aléias (Figura 65 e 66).

Os sistemas de manejo em aléias e de roça no toco possuem características intrínsecas que atuam diretamente sobre a decomposição da MOS e, aliadas às condições do solo da área de roça no toco estar alagado ou não, determinam a capacidade do solo em mineralizar N. Desta forma, as diferenças na capacidade do solo em função do manejo mineralizar N, resultaram em diferenças na disponibilidade de N e, conseqüentemente, na absorção e na eficiência de uso de N pelas variedades de arroz.

Houve efeito significativo entre os sistemas de manejo apenas no segundo ano do experimento e, contrariando os resultados obtidos anteriormente, a variedade melhorada acumulou concentrações mais elevadas de N-NO_3^- tanto nas folhas como nas bainhas (Figuras 67 e 68)

Apesar do solo da área ser vulnerável a processos consecutivos de umedecimento e secagem, deve-se considerar que no sistema de manejo em aléias o solo manteve-se sob condições aeróbias, e desta forma, a decomposição da MOS e conseqüente mineralização do N foi aeróbia, favorecendo a nitrificação, o que resultou em maiores teores de N-NO_3^- inicialmente disponibilizados para as plantas. Na roça no toco quantificou-se o N mineralizado aerobiamente (pré-alagamento) e o N mineralizado anaerobiamente (pós-alagamento). Esta constatação pode, possivelmente, estar relacionado à maior estabilidade da MOS nas condições de alagamento, tanto pela sua proteção na fração argila do solo, como pela presença de frações orgânicas mais recalcitrantes, fatores que afetam sobremaneira à atividade microbiana, resultando em diferenças na decomposição da MOS e na mineralização do N e conseqüentemente na nitrificação. Estes fatos podem explicar, em parte, os resultados obtidos com os sistemas de manejo.

Entre as diferentes épocas de amostragem houve efeito significativo ($p < 0,05$) durante os dois anos do experimento para os dois sistemas de manejo e variedades. Em geral na época de enchimento dos grãos o acúmulo de nitrato foi maior tanto nas aléias como na roça no toco (Figuras 65 e 66).

Tabela 43 – Teor de N-NO₃⁻ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
μmoles N-NO ₃ ⁻ .g ⁻¹ de massa fresca								
Folha								
Três Meses*	11,88	19,08	6,16	12,37	11,98	15,62	1,94	9,85
Bonança**	12,32	15,99	7,58	11,96	12,15	14,94	2,35	9,81
Média	12,10 b	17,54 a	6,87 c		12,06 b	15,28 a	2,15 c	
Média		12,17				9,83		
Bainha								
Três Meses	8,89	11,45	3,40	7,91	10,56	13,23	0,75	8,18
Bonança	7,09	12,16	3,73	7,66	9,52	13,90	0,69	8,04
Média	7,99 b	11,81 a	3,57 c		10,04 b	13,57 a	0,72 c	
Média		7,79				8,11		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade. *Variedade local **Variedade Melhorada.

Tabela 44 – Teor de N-NO₃⁻ nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
μmoles N-NO ₃ ⁻ .g ⁻¹ de massa fresca								
Folha								
Piauí*	13,15	17,99	4,90	12,01 Aa	3,46	4,66	3,34	3,82 Bb
IAC-47**	14,13	16,46	6,68	12,42 Aa	5,52	7,51	5,74	6,26 Ab
Média	13,64 b	17,23 a	5,79 c		4,49 b	6,08 a	4,54 b	
Média		12,22 a				5,04 b		
Bainha								
Piauí	17,06	18,10	4,78	13,31	5,11	6,62	5,61	5,78
IAC-47	16,35	17,26	3,74	12,45	4,22	8,01	5,80	6,01
Média	16,71 b	17,68 a	4,26 c		4,67 b	7,32 a	5,71 b	
Media		12,88 a				5,90 b		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade. *Variedade local **Variedade Melhorada.

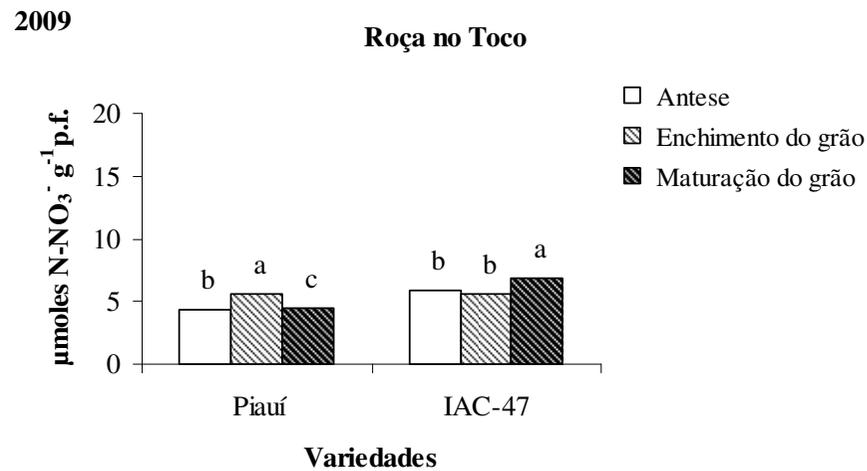
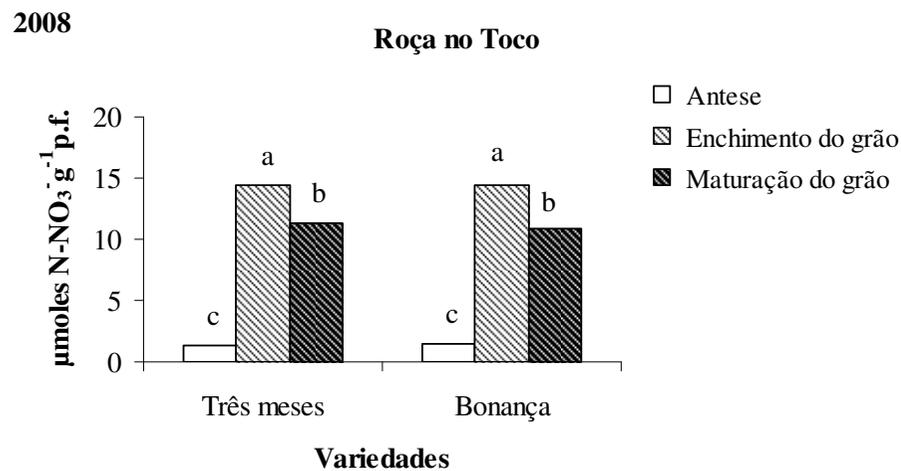
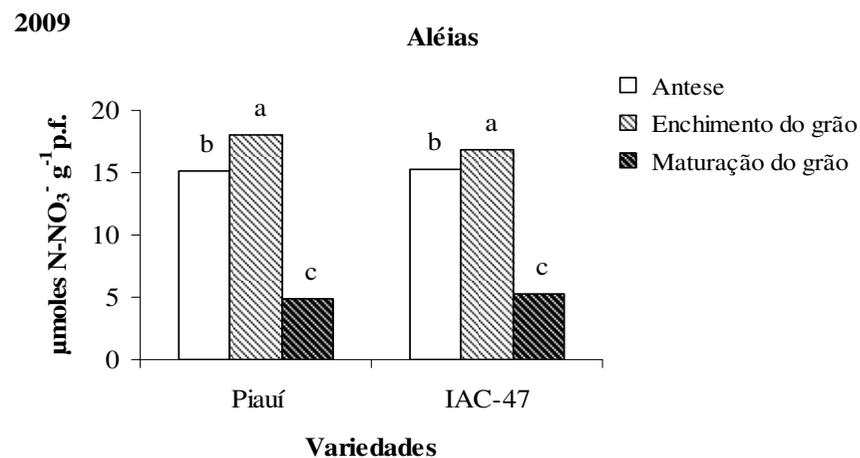
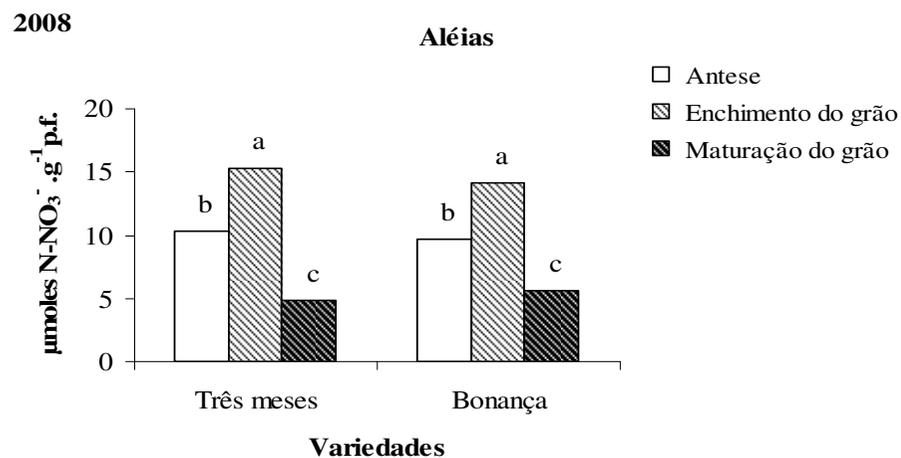
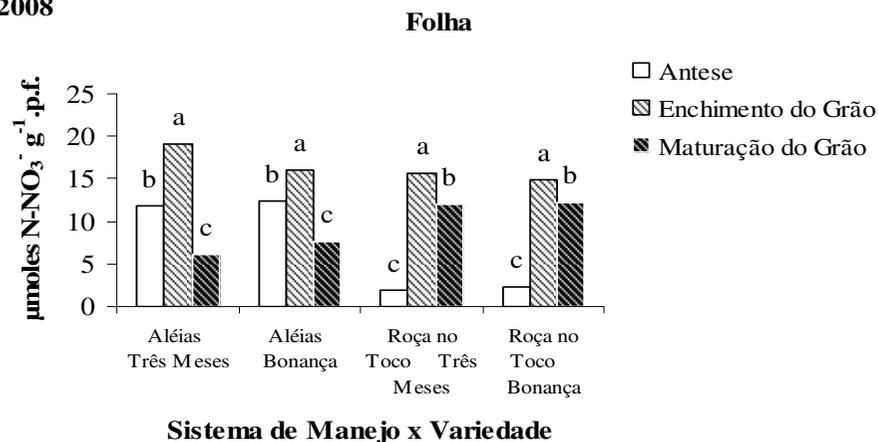
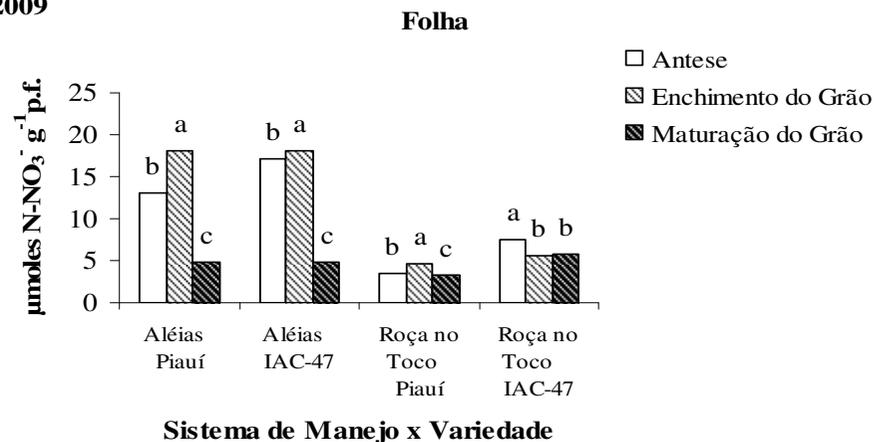


Figura 65 - Teor de $N-NO_3^-$ nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo Teste de DMS a 5% de probabilidade.

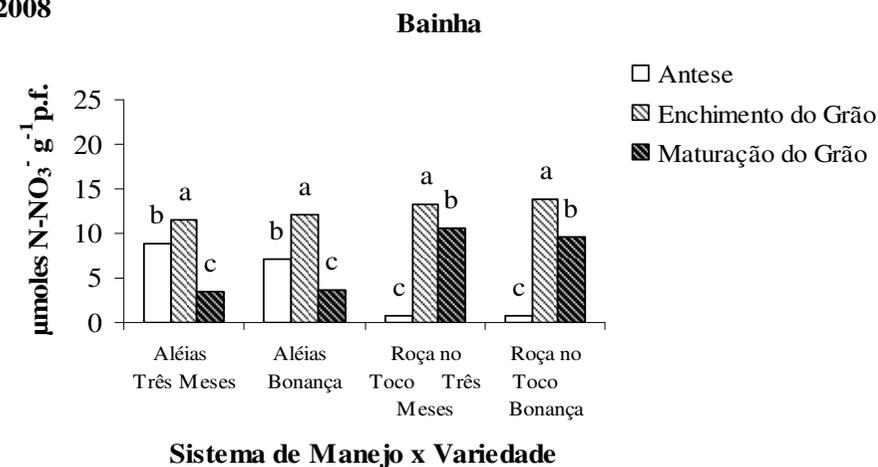
2008



2009



2008



2009

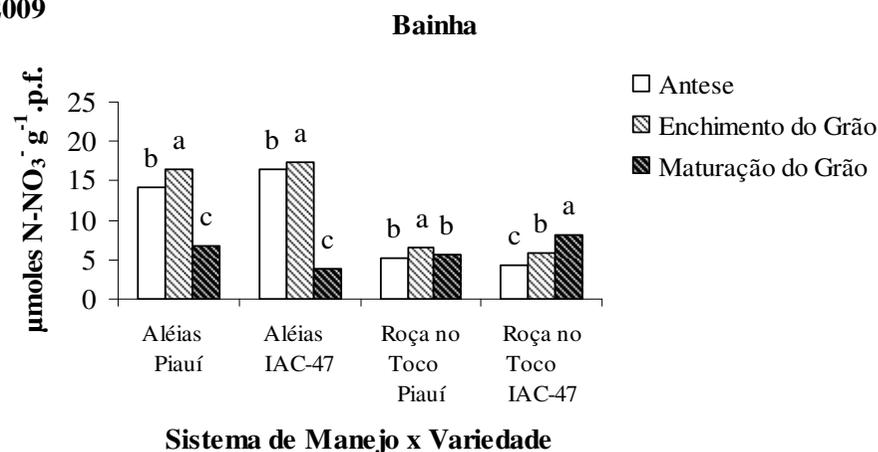


Figura 66 - Teor de $N-NO_3^-$ nas folhas e bainhas das variedades de arroz, Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

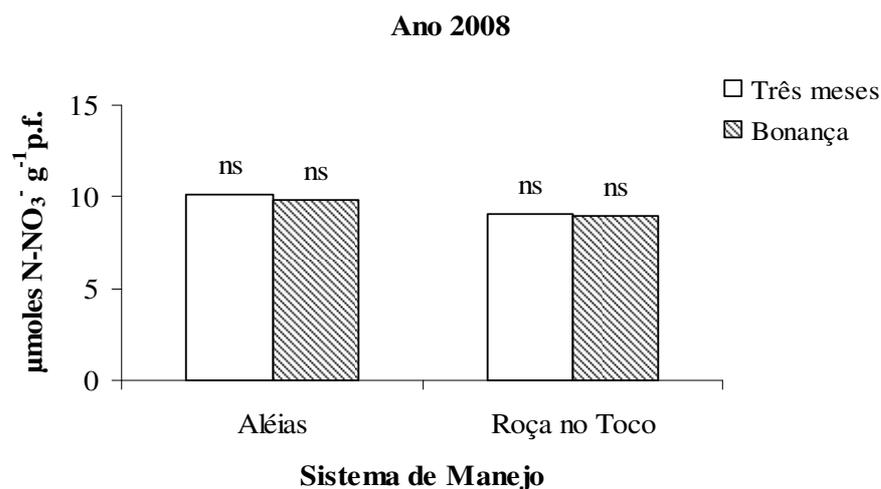


Figura 67 - Teor de N-NO₃⁻ nas variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2008.

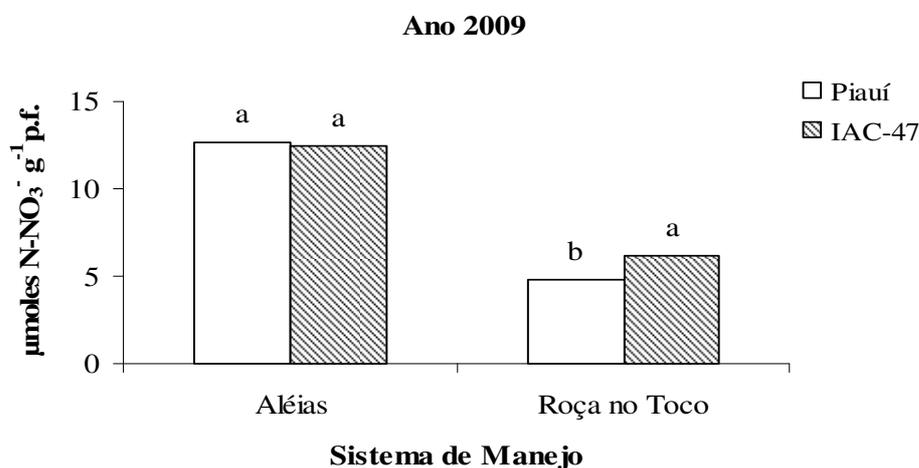


Figura 68 - Teor de N-NO₃⁻ nas variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

c) Teor de N-amino

As variações nos teores de N-amino livre, em resposta às condições experimentais seguiram a mesma tendência das demais frações de N (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻). Não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os sistemas de manejo e variedades locais e melhoradas de arroz no primeiro e segundo ano (Tabelas 45 e 46). No entanto, as variedades diferiram para as concentrações de N-amino nos tecidos foliares. Em 2008, o maior acúmulo de N-amino ocorreu nas folhas, onde a variedade local “Três Meses” foi superior a melhorada “Bonança” acumulando maiores concentrações de N-amino. No segundo ano (2009), o maior acúmulo ocorreu nas bainhas das duas variedades e no geral a variedade melhorada “IAC-47” apresentou as maiores concentrações (Tabela 46). Teores mais elevados de N-amino, normalmente indicam situação de estresse nutricional ou ambiental para as plantas (Fernandes & Rossiello, 1995).

Entre as épocas de amostragem houve diferença significativa dentro de cada manejo nas diferentes partes da planta (Figuras 69 e 70). Do período inicial de crescimento até a antese, as variedades apresentaram baixos conteúdos de N-amino para folhas e bainhas. Na fase de enchimento dos grãos os conteúdos foram mais expressivos, indicando intensa assimilação de

nitrito nesse estágio, que reduziu na maturação dos grãos. Esse comportamento foi verificado para as duas variedades tanto nas aléias como na roça no toco nos dois anos de cultivo.

Tabela 45 – Teor de N-amino nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
$\mu\text{moles N-amino.g}^{-1}$ de massa fresca								
Folha								
Três Meses*	2,45	8,75	3,67	4,96	2,52	7,51	3,43	4,49
Bonança**	3,99	4,27	2,35	3,54	3,85	3,93	2,82	3,53
Média	3,20 b	6,51 a	3,01 c		3,19 b	5,72 a	3,13 b	
Média		4,24				4,01		
Bainha								
Três Meses	1,58	2,80	2,46	2,28	1,86	3,96	1,02	2,28
Bonança	1,82	2,86	2,14	2,27	2,43	3,19	1,13	2,25
Média	1,70 c	2,83 a	2,30 b		2,15 b	3,58 a	1,08 c	
Média		2,28				2,27		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade. *Variedade local **Variedade Melhorada.

Tabela 46 – Teor de N-amino nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
	$\mu\text{moles N-amino g}^{-1}$ de massa fresca							
Folha								
Piauí*	4,35	4,60	2,84	3,93	2,94	4,38	2,57	3,30
IAC-47**	4,07	4,76	4,00	4,28	2,99	4,61	2,65	3,22
Média	4,21 a	4,68 a	3,42 b		2,96 b	4,49 a	2,61 b	
Média		4,10				3,35		
Bainha								
Piauí	3,47	4,55	4,16	4,06	3,14	3,47	2,63	3,08
IAC-47	4,68	5,01	4,57	4,75	3,80	3,97	2,60	3,46
Média	4,07 b	4,78 a	4,36 b		3,47 a	3,72 a	2,62 b	
Media		4,40				3,27		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade. *Variedade local **Variedade Melhorada.

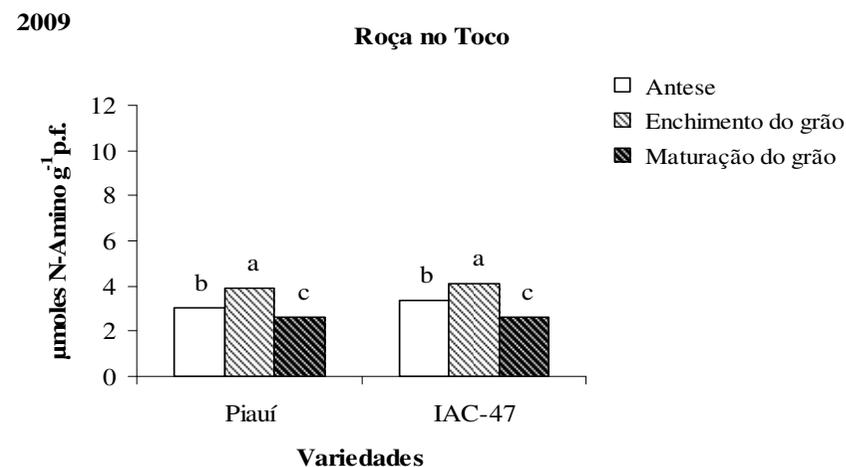
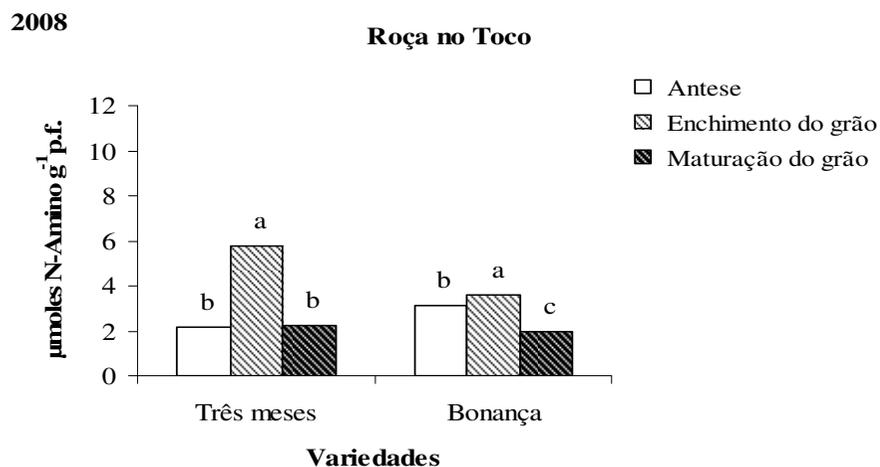
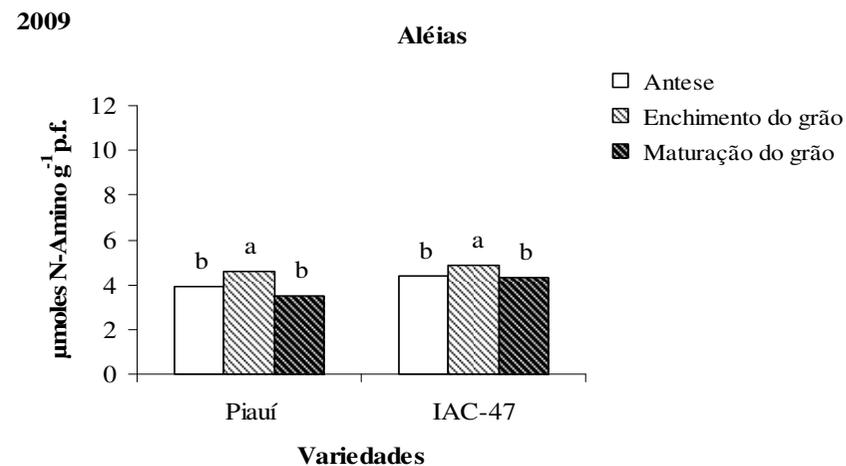
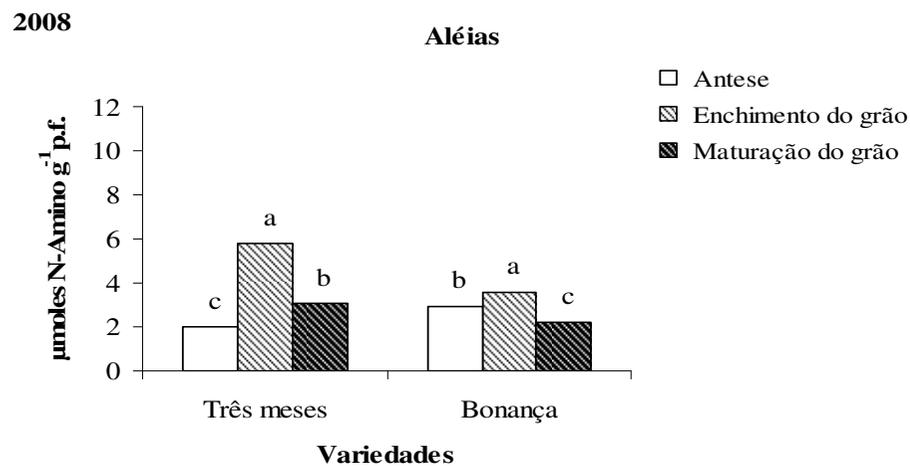
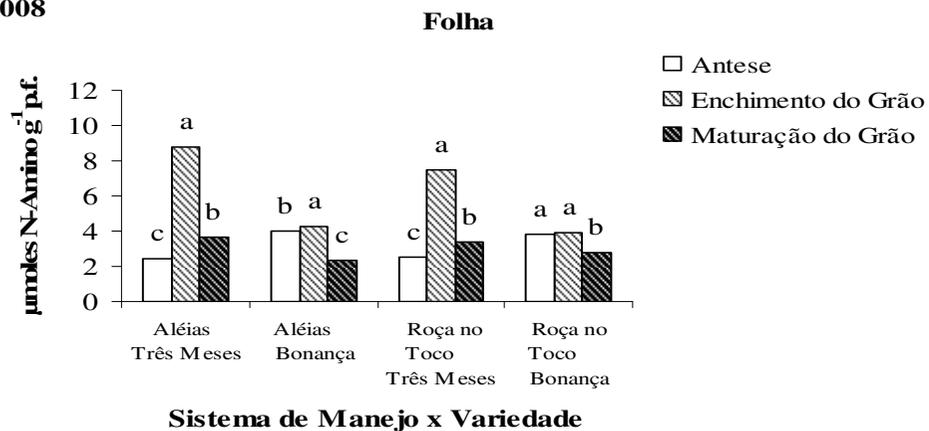
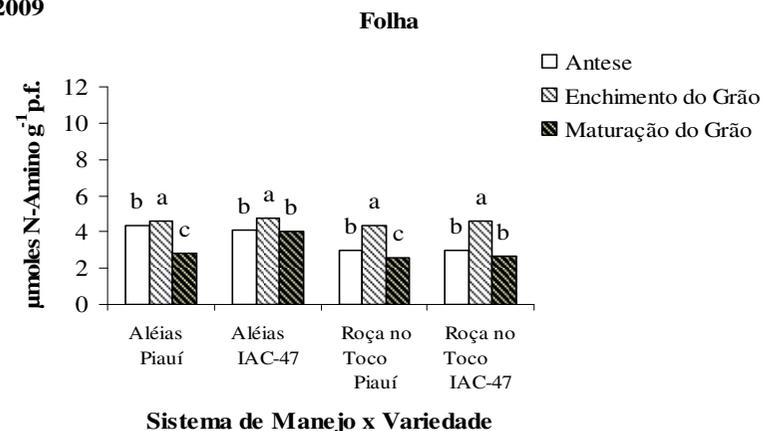


Figura 69 - Teor de N-amino nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento de grão) e 60 DDA (maturação de grãos) nos anos de 2008 e 2009..Letras iguais para a mesma época não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

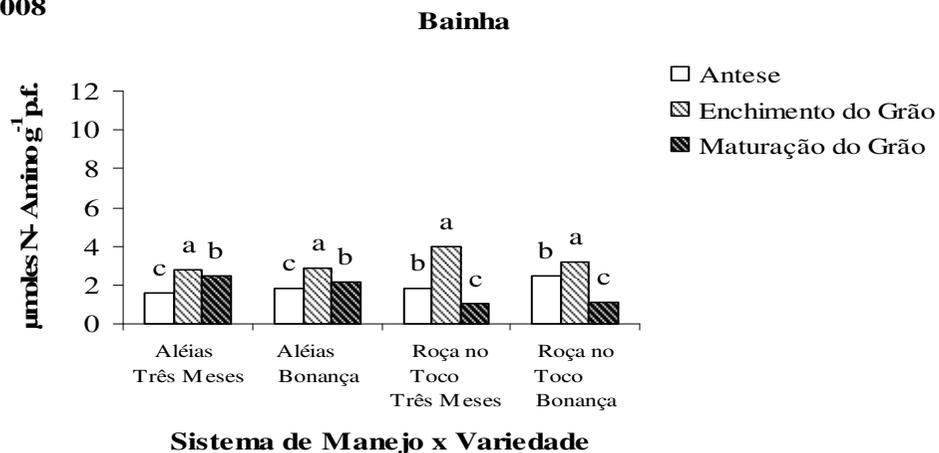
2008



2009



2008



2009

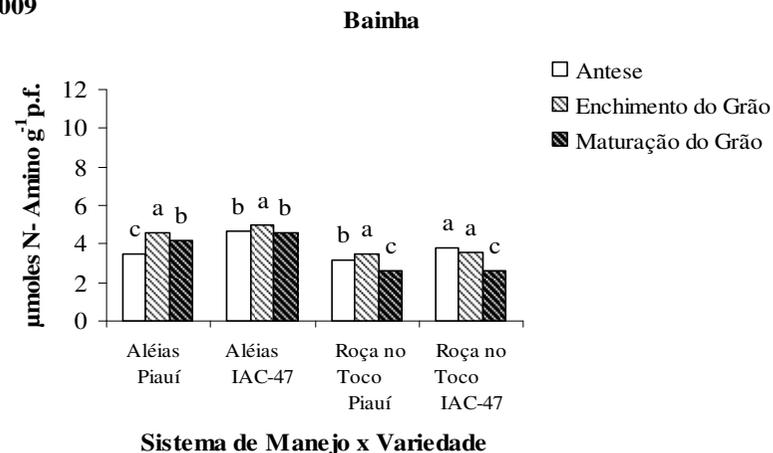


Figura 70 - Teor de N-amino nas folhas e bainhas das variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento de de grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para cada época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% e probabilidade.

Os teores de N-amino livre nas folhas e bainhas das variedades de arroz mostraram padrão diferenciado (Figura 70). Em 2008 tanto nas em aléias quanto na roça no toco o maior acúmulo ocorreu nas folhas em ambas às variedades, sendo que a Três Meses foi superior a Bonança. Em 2009 as variedades Piauí e IAC-47 acumularam maior quantidade de N-amino nas bainhas, com os maiores teores para a variedade melhorada IAC-47. Os maiores conteúdos de N-amido refletiram em menor concentração de açúcar solúvel, indicando que os açúcares são precursores do amido. De acordo com Santos et al. (2005), esse resultado é explicado pelo decréscimo de N com o tempo de cultivo e pode estar relacionado a menor remobilização do NO_3^- estocado.

Entre os sistemas de manejo foram observadas diferenças apenas no segundo ano (Figuras 71 e 72) e no geral os maiores acúmulos foram observados na roça no toco em relação às aléias.

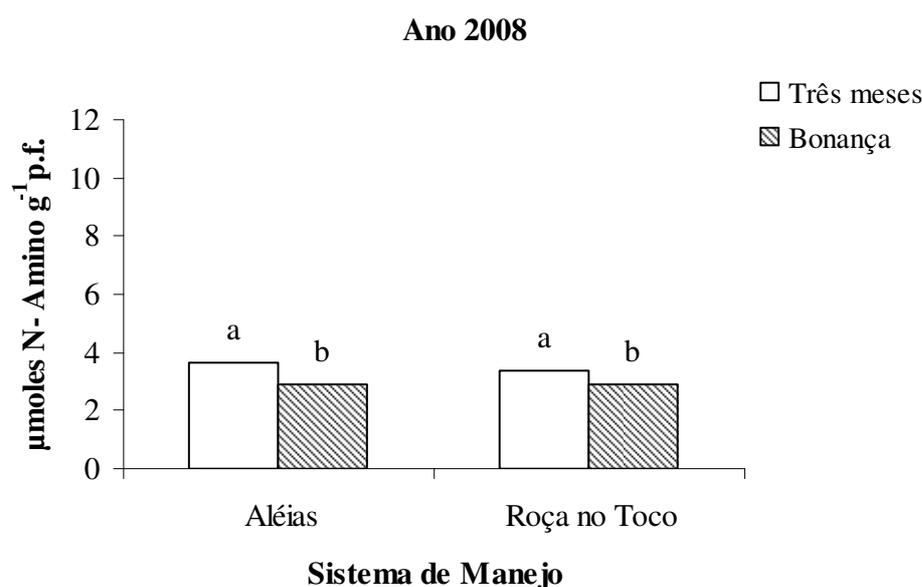


Figura 71 - Teor de N-amino nas variedades de arroz Trés Meses e Bonança, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2008. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

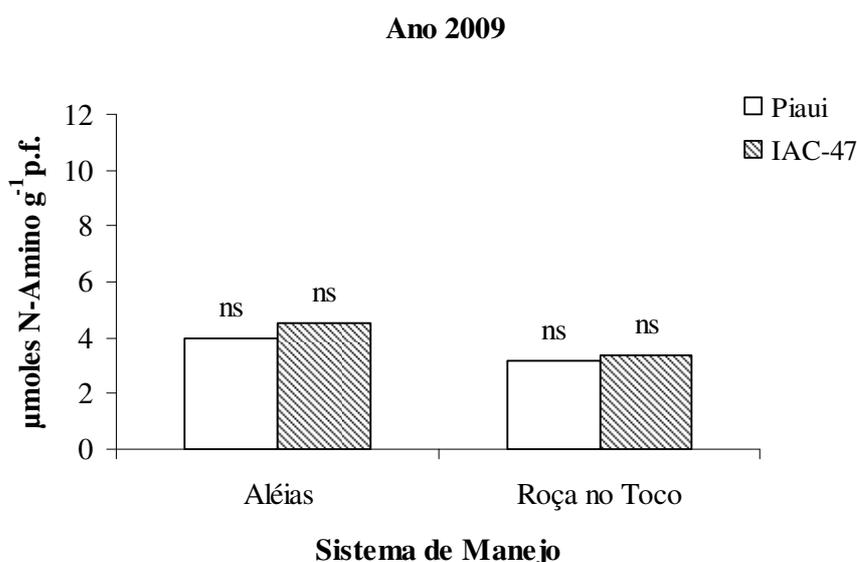


Figura 72 - Teor de N-amino nas variedades de arroz cultivadas Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009.

d) Teor de açúcar solúvel

Com relação ao teor de açúcar solúvel, foram observadas diferenças significativas entre as variedades e épocas de amostragem durante os dois anos de cultivo (Tabela 47 e 48). Os teores encontrados foram baixos para todas as variedades em todos os sistemas de manejo. No primeiro ano do experimento houve diferença entre as épocas de amostragem tanto para folha como para a bainha e as variedades Três Meses e Bonança apresentaram diferença entre si. A variedade Três Meses acumulou maiores teores de açúcares solúveis nas folhas enquanto a variedade Bonança acumulou maiores quantidades nas bainhas (Figuras 73 e 74). Em média as plantas cultivadas na roça no toco acumularam maiores teores de açúcares solúveis em relação ao sistema de manejo em aléias embora os valores não tenham diferido estatisticamente.

No segundo ano do experimento foram observadas diferenças entre as épocas de amostragem e entre as variedades apenas para as bainhas e contrariando os resultados do primeiro ano, a variedade melhorada IAC-47 apresentou o maior acúmulo de açúcar solúvel e estes acúmulos ocorreram nas bainhas tanto para o sistema em aléias como no sistema da roça no toco (Figura 73 e 74). Nas plantas cultivadas no sistema em aléias verificaram-se os maiores acúmulos de açúcares solúveis em relação à roça no toco (Figuras 75 e 76). Esse aumento na concentração de açúcar solúvel se dá provavelmente porque há uma diminuição gradativa no conteúdo de N presente no pool de reserva da planta com o decorrer do tempo e por conseguinte uma menor remobilização do NO_3^- acumulado nesses compartimentos.

e) Teor de N-protéico

Os teores de N-protéico nas folhas e bainhas das variedades de arroz diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) entre sistemas de manejo e épocas de amostragem nos dois anos de cultivo (Tabelas 49 e 50). Os maiores teores de N-protéico foram observados na fase inicial de desenvolvimento até a antese com queda gradativa até a maturação dos grãos. Entre os sistemas de manejo as maiores concentrações foram obtidas nas plantas mantidas nos sistema em aléias e mais elevados nas folhas das variedades melhoradas Bonança e IAC-47, respectivamente no primeiro segundo ano de cultivo refletindo a eficiência dessas variedades melhoradas em assimilar prontamente o N-disponível. (Figura 77).

Tabela 47 – Teor de Açúcar solúvel nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
% açúcar solúvel g ⁻¹ de massa fresca								
Folha								
Três Meses*	1,80	3,97	0,02	1,93	1,56	3,29	2,67	2,51
Bonança**	2,04	3,38	0,02	1,81	2,21	2,42	2,05	2,23
Média	1,92 b	3,68 a	0,02 c		1,88 c	2,86 a	2,36 b	
Média		1,87				2,37		
Bainha								
Três Meses	1,84	3,17	0,01	1,67 Ab	1,68	2,01	1,91	1,87 Ba
Bonança	1,65	3,40	0,01	1,69 Ab	1,58	2,89	2,41	2,29 Aa
Média	1,75 b	3,28 a	0,01 c		1,63 b	2,45 a	2,16 a	
Média		1,68				2,08		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

*Variedade local **Variedade Melhorada.

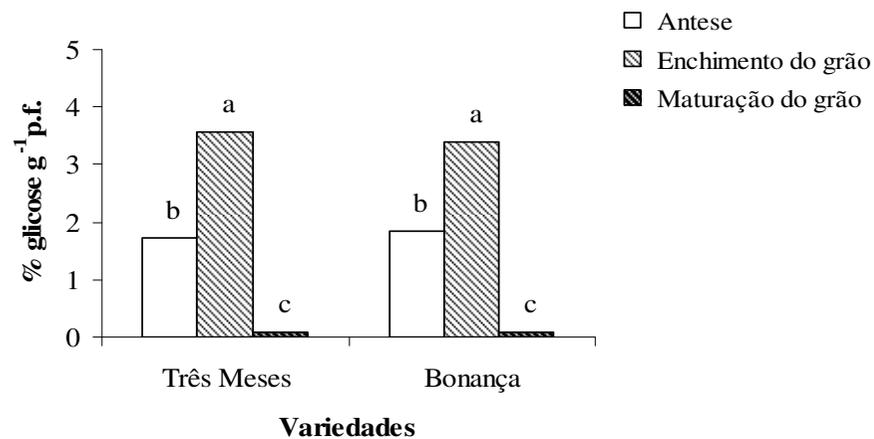
Tabela 48 – Teor de Açúcar Solúvel nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e Melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
% açúcar solúvel g ⁻¹ de massa fresca								
Folha								
Piauí*	1,15	1,51	1,00	1,22	0,16	1,91	1,22	1,10
IAC-47**	1,55	1,69	1,21	1,48	0,22	2,89	1,40	1,50
Média	1,35 b	1,60 a	1,11 b		0,19 c	2,40 a	1,31 b	
Média		1,35				1,30		
Bainha								
Piauí	1,27	1,69	0,78	1,25 Bb	0,25	2,77	1,75	1,59 Aa
IAC-47	1,94	2,58	0,68	1,73 Aa	0,25	1,53	1,43	1,07 Bb
Média	1,61 b	2,14 a	0,73 c		0,25 c	2,15 a	1,59 b	
Media		1,49				1,33		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.*Variedade local **Variedade Melhorada.

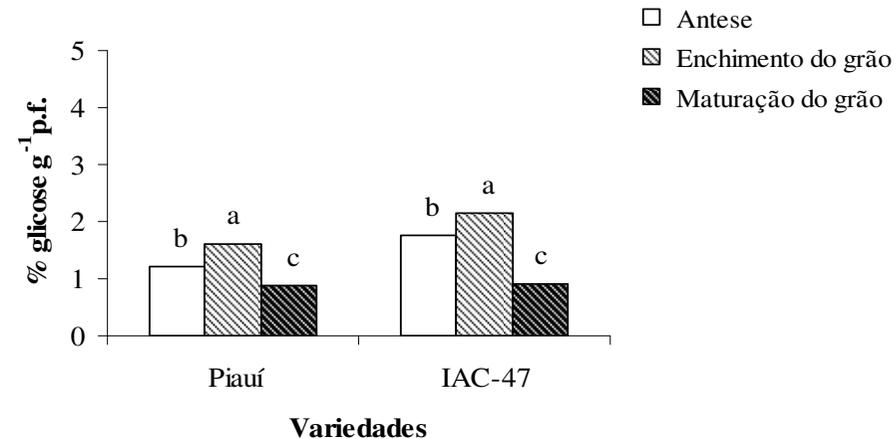
2008

Aléias



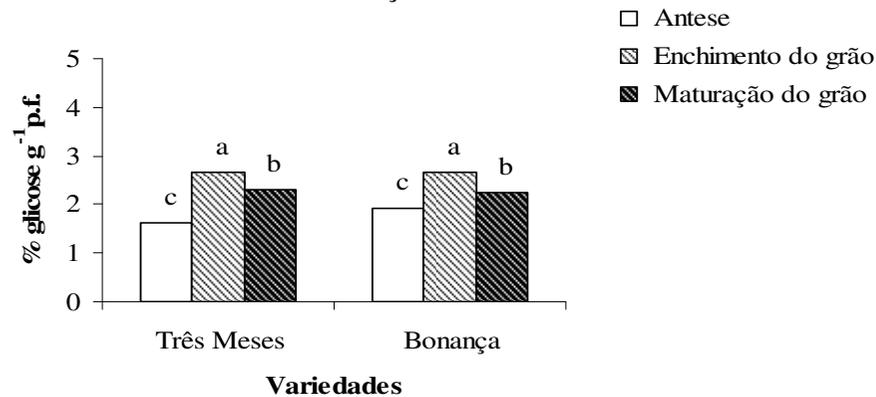
2009

Aléias



2008

Roça no Toco



2009

Roça no Toco

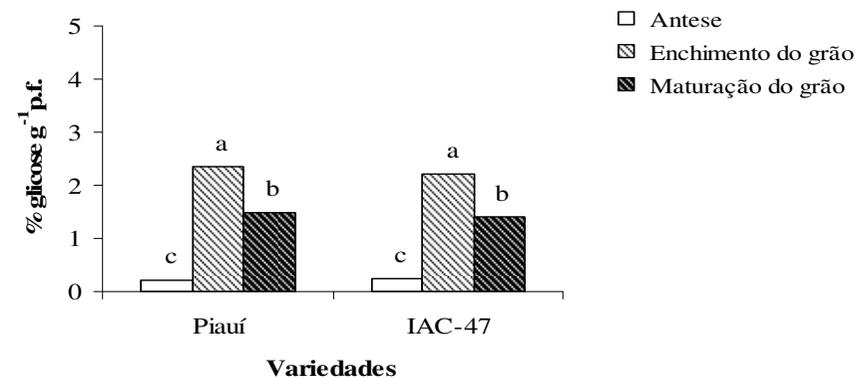
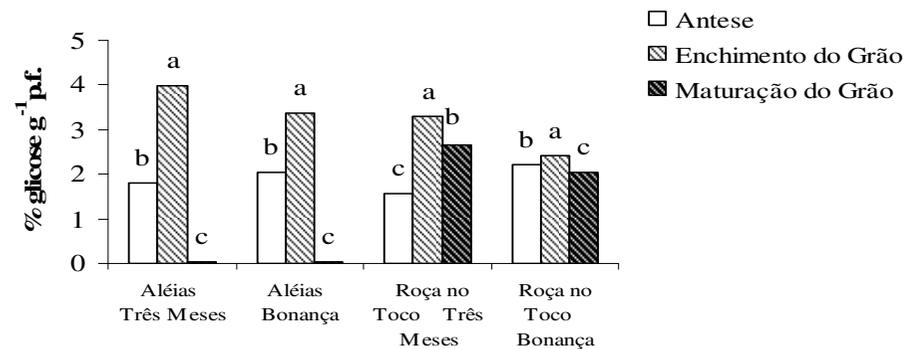


Figura 73 - Teor de Açúcar Solúvel nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDa (enchimento de grão) e 60 DDa (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

2008

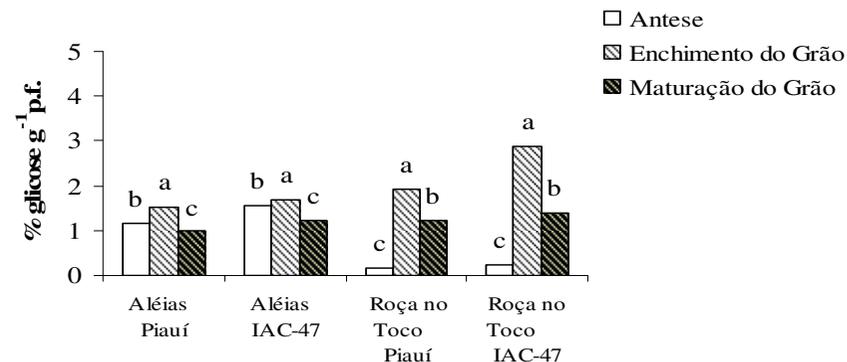
Folha



Sistema de Manejo x Variedade

2009

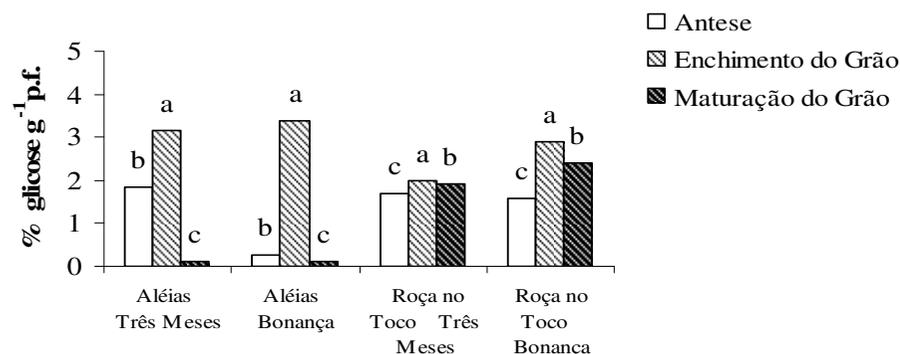
Folha



Sistema de Manejo x Variedade

2008

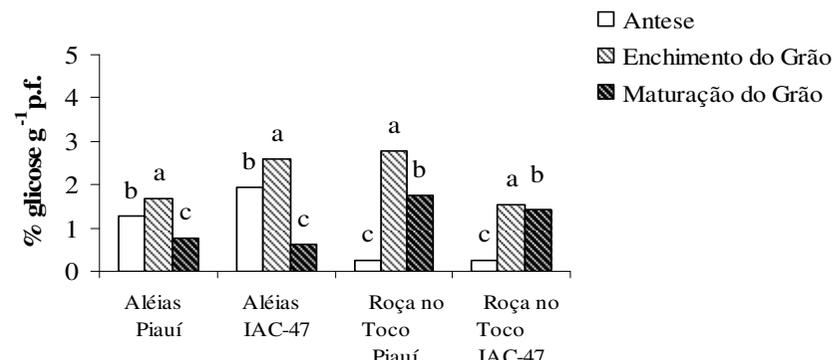
Bainha



Sistema de Manejo x Variedade

2009

Bainha



Sistema de Manejo x Variedade

Figura 74 - Teor de Açúcar Solúvel nas folhas e bainhas das variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco) no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

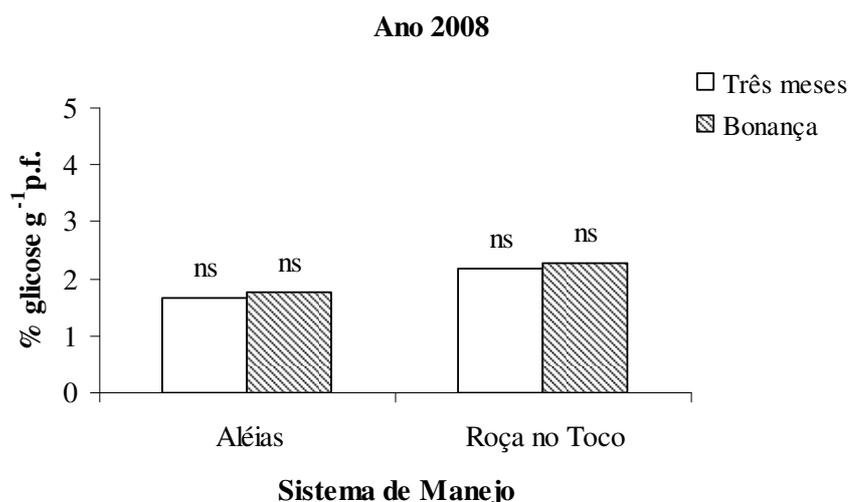


Figura 75 - Teor de Açúcar Solúvel nas variedades de arroz Três Meses e Bonança, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2008. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

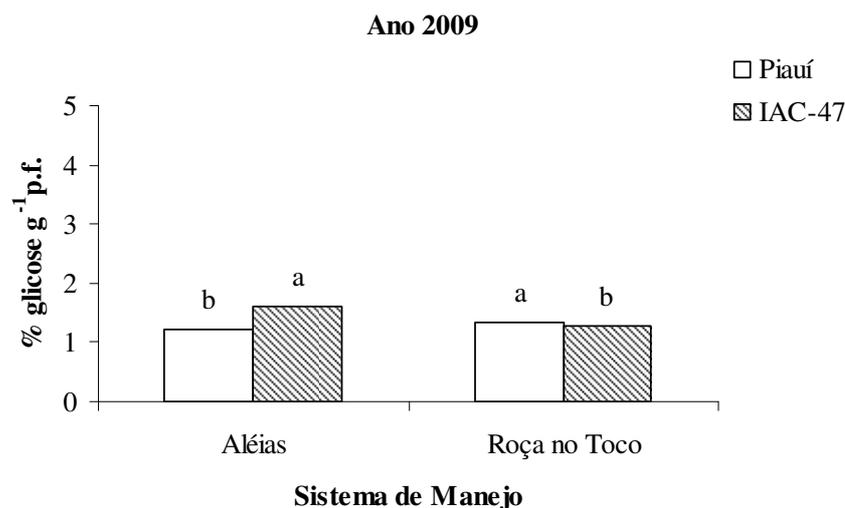


Figura. 76 - Teor de Açúcar Solúvel em duas variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, no ano de 2009. Letras iguais para a mesma variedade não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

Tabela 49 – Teor de N-protéico nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2008.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
N-protéico mg g ⁻¹ de massa fresca								
Folha								
Três Meses*	24,65	16,32	12,55	17,84	13,81	6,33	5,60	8,58
Bonança**	26,36	15,22	11,52	17,70	11,32	9,47	7,22	9,34
Média	25,51 a	15,77 b	12,04 c		12,57 a	7,90 b	6,41 c	
Média		17,77 a				8,96 b		
Bainha								
Três Meses	9,12	5,56	5,22	6,63	9,94	8,15	2,80	6,96
Bonança	9,77	7,33	7,00	8,03	6,09	5,47	1,95	4,50
Média	9,45 a	6,45 b	6,11 b		8,02 a	6,81 a	2,38 b	
Média		7,34				5,74		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

* Variedade local e **Variedade Melhorada.

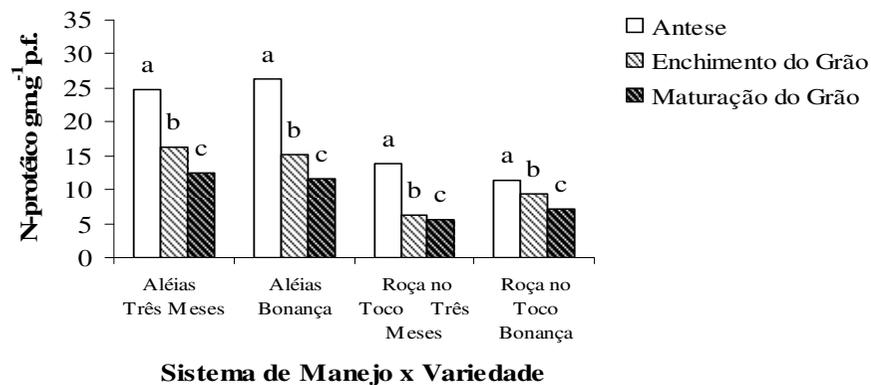
Tabela 50 – Teor de N-protéico nas folhas e bainhas de duas variedades de arroz (local e melhorada) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) no ano de 2009.

Variedades	Sistema de Manejo							
	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
N-protéico mg g ⁻¹ de massa fresca								
Folha								
Piauí*	19,89	13,25	11,88	15,01	13,74	5,83	5,15	8,24
IAC-47**	28,48	12,10	12,83	17,50	12,82	9,10	7,10	9,67
Média	24,18 a	12,67 b	12,36 b		13,28 a	7,46 b	6,13 b	
Média		16,40 a				8,96 b		
Bainha								
Piauí	9,09	6,28	4,30	6,56	10,15	6,39	2,68	6,41
IAC-47	10,65	8,96	6,98	8,86	6,28	4,57	1,99	4,28
Média	9,87 a	7,62 b	5,64 b		8,22 a	5,48 b	2,34 c	
Media		7,71				5,36		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade. * Variedade local **Variedade Melhorada.

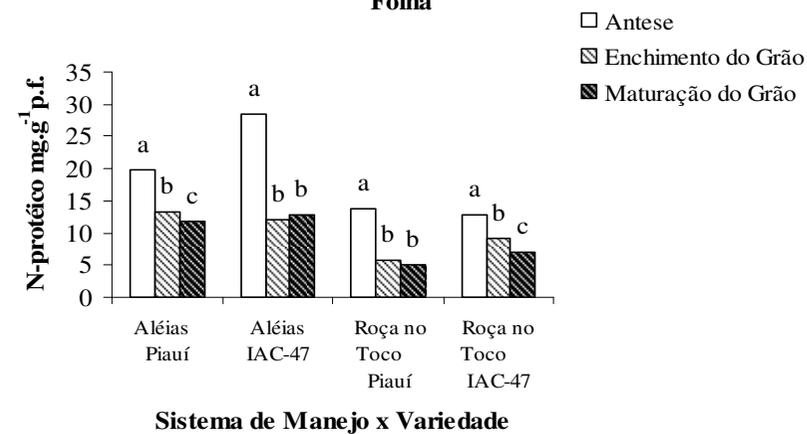
2008

Folha



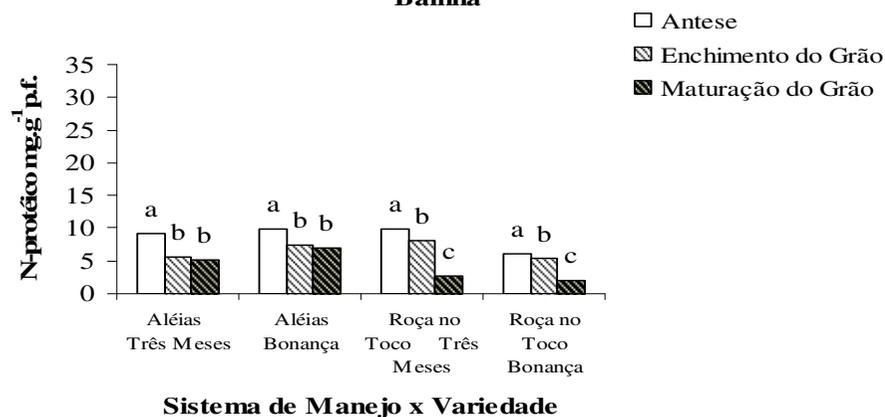
2009

Folha



2008

Bainha



2009

Bainha

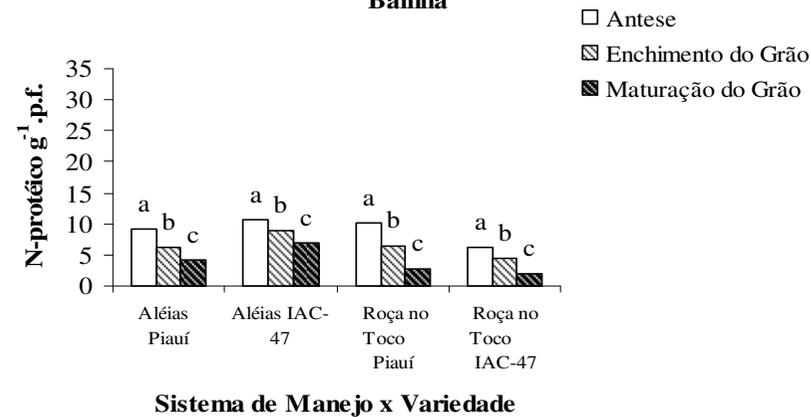


Figura 77 - Teor de N-protéico nas folhas e bainhas das variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47 cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento de grão) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

f) Nitrogênio total

Os resultados referentes aos teores de N-total na matéria seca da parte aérea (folha +bainha) das variedades de arroz avaliadas no primeiro ano de cultivo não apresentaram diferenças estatísticas significativas ($p>0,05$) entre os sistemas de manejo e variedades. Os teores diferiram apenas entre as épocas de amostragem tanto nas aléias como na roça no toco (Tabela 51). Os maiores teores acumulados foram observados para a variedade melhorada no período da antese e o sistema de cultivo em aléias apresentou maior conteúdo quando comparado ao sistema de roça no toco sem grandes variações.

No segundo ano, os teores de N-total seguiram a mesma tendência do ano anterior. Não foram encontradas diferenças significativas ($p>0,05$) e a variedade Piauí no sistema em aléias apresentou teores mais elevados enquanto que na roça no toco, a variedade IAC-47 acumulou os maiores teores (Tabela 51). Nos dois sistemas de manejo houve redução no teor de N-total com o aumento do ciclo da cultura (Figura 78). Embora não tenha ocorrido diferença significativa entre os sistemas de manejo e variedades na concentração de N-total, observou-se que devido aos diferentes rendimentos de matéria seca, houve diferenças nas quantidades dos N nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas em ambos os sistemas. O elevado teor de N-total na parte aérea na fase inicial de crescimento está relacionado à mobilização e acúmulo de N-protéico a partir do N inicialmente assimilado. Durante o período de reprodução e maturação dos grãos esse N seria transportado para os grãos, reduzindo assim o teor de N na parte aérea no final do ciclo.

Tabela 51 – Teor de N-total da parte aérea (folha+bainha) de variedades de arroz (locais e melhoradas) cultivadas em dois sistemas de manejo (aléias e roça no toco) no município de Miranda do Norte – MA, em três épocas de amostragem (antese, enchimento e maturação de grãos) nos anos de 2008 e 2009.

Variedades	Aléias				Roça no toco			
	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média	Antese	Enchimento do grão	Maturação do grão	Média
N-total mg g ⁻¹ de massa fresca								
Ano 2008								
Três Meses*	58,79	38,70	32,13	43,20	59,92	39,38	28,56	42,62
Bonança**	63,25	35,64	34,92	44,48	67,00	37,02	29,28	44,43
Média	61,02 a	37,17 b	33,53 c		63,46 a	38,20 b	28,92 c	
Média		41,16				46,28		
Ano 2009								
Piauí*	31,39	28,32	27,29	29,00 ns	30,22	25,02	24,08	26,44
IAC-47**	30,45	28,82	27,62	28,96 ns	32,57	29,29	25,97	29,28
Média	30,92	28,57	27,46		31,40	27,16	25,02	
Média		28,98				27,86		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

* Variedade local ** Variedade Melhorada,

Na maturidade foram observadas diferenças significativas ($p<0,05$) entre variedades, sistemas de manejo e época de amostragem (Tabela 52). O acúmulo de N-total na parte aérea foi maior nas variedades melhoradas (Bonança e IAC-47) e nos grãos o maior acúmulo foi encontrado nas variedades locais (Três Meses e Piauí). Entre os sistemas de manejo, nas aléias foram observados os maiores teores de N na parte aérea no primeiro ano de cultivo enquanto que no segundo ano, a roça no toco apresentou os maiores teores.

Tabela 52 – Teor de N-total da parte aérea na maturidade das variedades de arroz (locais e melhoradas) cultivadas com e sem aléias, no município de Miranda do Norte – MA, durante os anos de 2008 e 2009.

N-total da parte aérea (mg/g de planta)						
Sistema de Manejo	Folha + Bainha			Grãos		
	Três Meses*	Bonança**	Média	Três Meses*	Bonança**	Média
mg.g ⁻¹ planta						
Ano 2008						
Aléias	32,13	34,92	33,53 a	24,36 a	17,26 b	20,81 a
Roça no Toco	28,56	29,28	28,92 b	13,41 a	15,87 a	14,64 b
Média	30,34 a	32,10 a		17,03 a	14,46 b	
CV%	31,22 a			17,72 b		
Ano 2009						
	Piauí	IAC-47	Média	Piauí	IAC-47	Média
Aléias	27,29	27,62	22,46 b	16,49	15,07	15,78 a
Roça no Toco	24,08	25,97	25,03 a	16,72	15,21	15,96 a
Média	25,68 ns	26,79 ns		14,72 ns	13,15 ns	
CV%	26,24a			15,87b		

Médias na mesma linha, para manejo e épocas separadamente, seguidas por letras minúsculas iguais e, na mesma coluna para variedades, seguidas por letras maiúsculas iguais, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de DMS ao nível de 5% de Probabilidade.

* Variedades locais ** Variedades Melhoradas.

Com relação aos conteúdos de N na parte aérea, ao final do ciclo de desenvolvimento da cultura houve redução nas concentrações de N-total da parte vegetativa e acúmulo de N-total nos grãos. As variedades locais Três Meses e Piauí remobilizaram maior quantidade de N-total para os grãos nos dois sistemas de manejo mostrando-se mais eficientes na utilização de nitrogênio (Figuras 79 e 80).

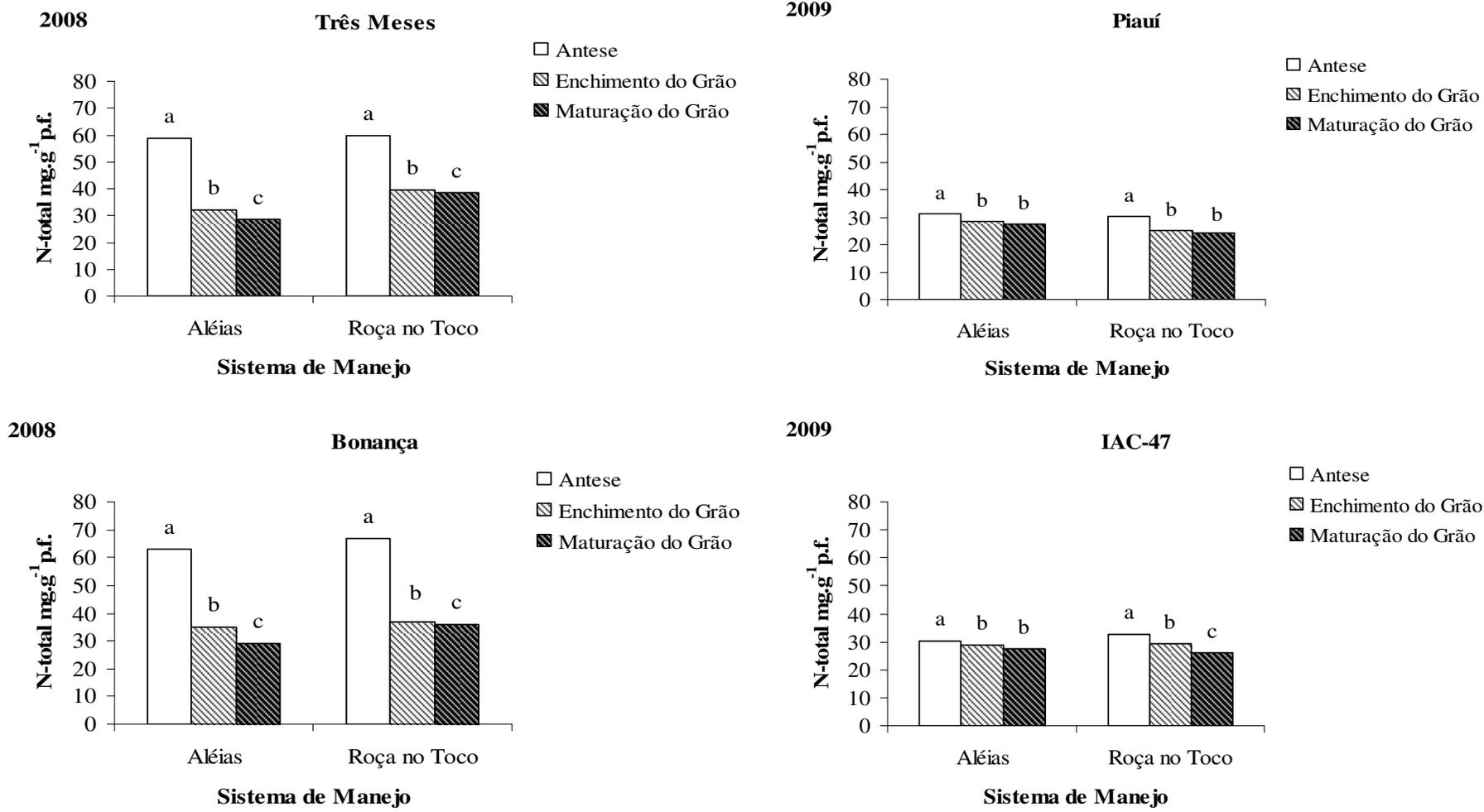


Figura 78 - Teor de N-total da parte área (folhas+bainha) nas variedades de arroz Três Meses, Bonança, Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) nos anos de 2008 e 2009. Letras iguais para a mesma época de amostragem não diferem entre si pelo teste de DMS a 5% de probabilidade.

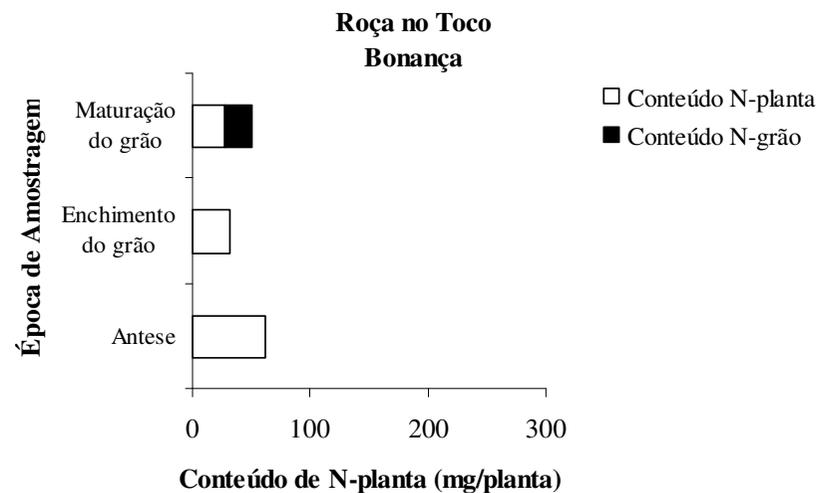
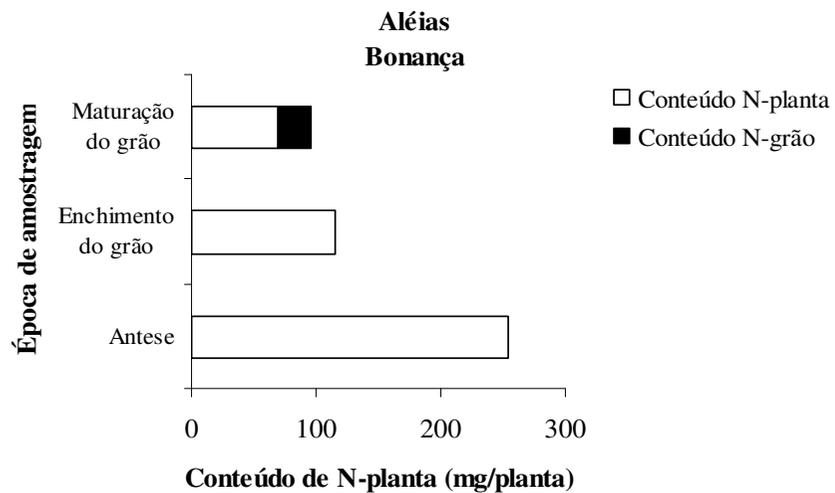
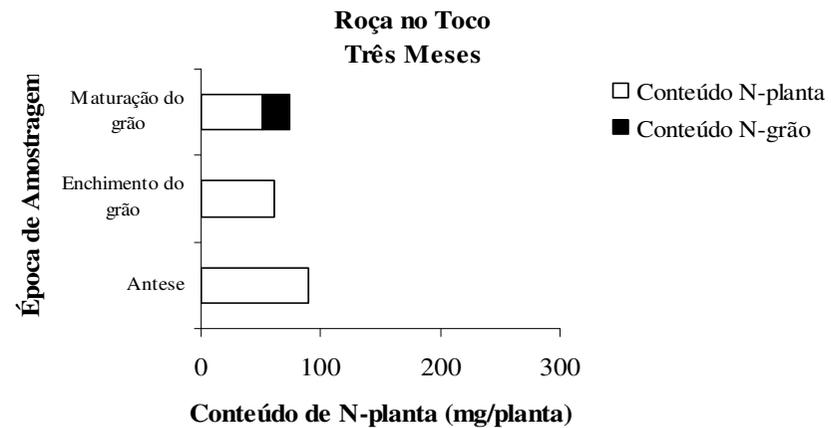
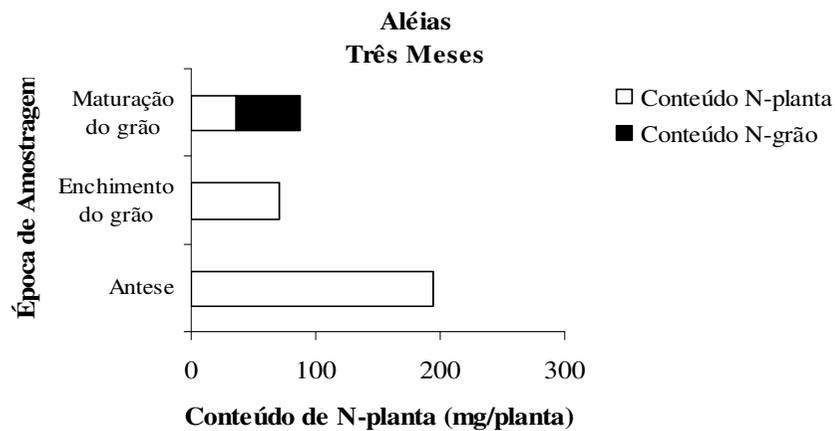


Figura 79 - Conteúdo de N na parte aérea (folha+bainha e grãos) das variedades de arroz Três Meses e Bonança cultivada em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento do grão) e 60 DDA (maturação de grãos) no ano de 2008.

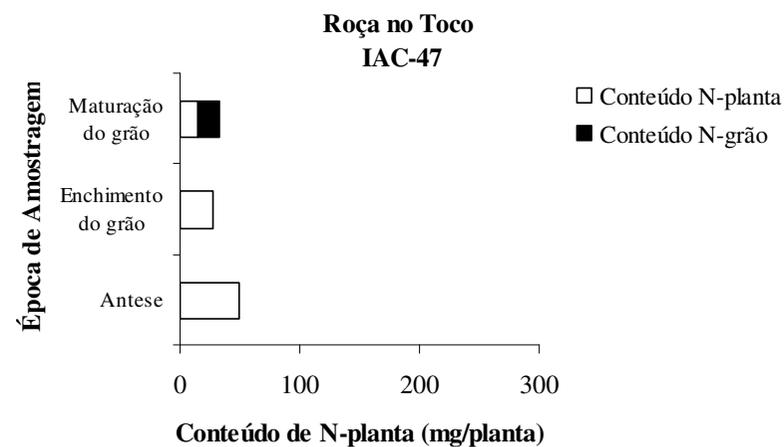
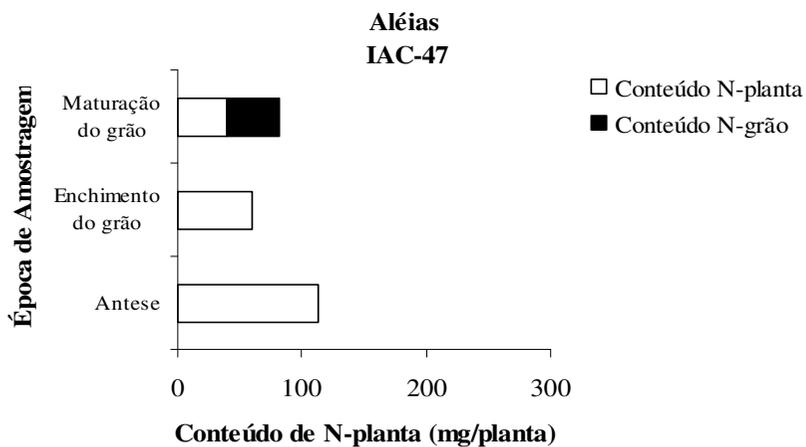
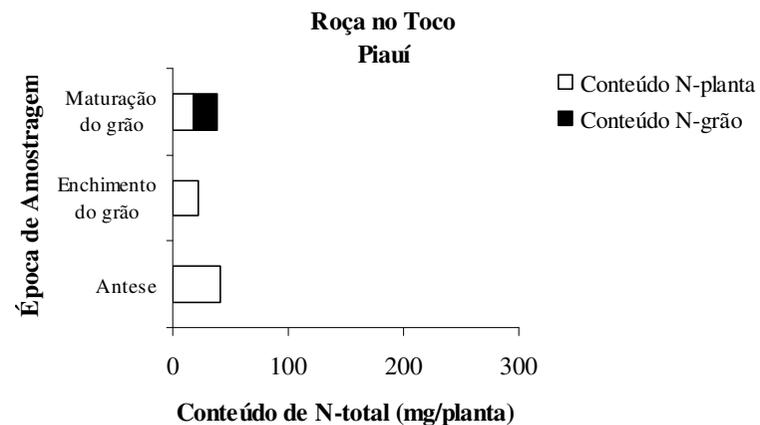
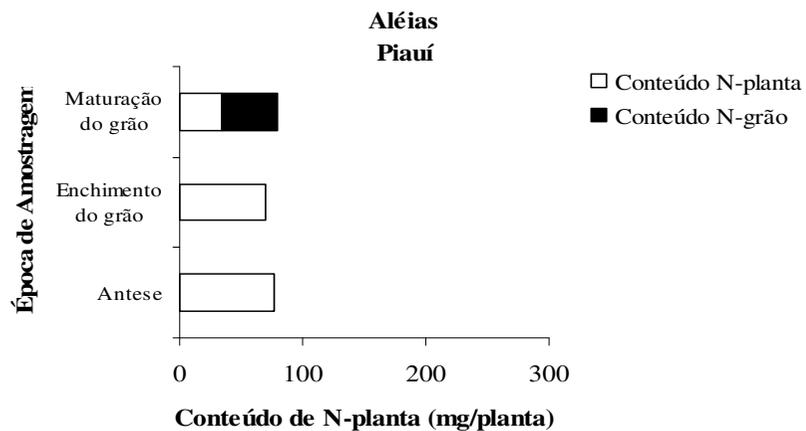


Figura 80 - Conteúdo de N na parte aérea (folha+bainha e grãos) das variedades de arroz Piauí e IAC-47, cultivadas em dois sistemas de manejo (Aléias e Roça no Toco), no município de Miranda do Norte – MA, em coletas realizadas na antese, 30 DDA (enchimento dos grãos) e 60 DDA (maturação dos grãos) no ano de 2009.

4.5.6. Produtividade, massa de 1000 grãos e proteína bruta do grão

Com relação à produtividade os resultados mostraram que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os sistemas de manejo e variedades locais e melhoradas de arroz nos dois anos de cultivo (Tabela 53). No primeiro ano do experimento (2008) a produção de grãos foi significativamente maior ($p < 0,05$) nos sistemas de manejo com aléias e roça no toco em relação ao sistema convencional. A produção foi baixa e entre as variedades as maiores diferenças foram observadas no sistema em aléias para a variedade Três Meses (local) que obteve maiores níveis de produtividade em relação à variedade Bonança (melhorada). Na roça no toco e no sistema convencional as variedades não diferiram entre si. Entre os sistemas de manejo a produtividade também foi maior nas aléias, seguida da roça no toco e do sistema convencional onde as duas variedades apresentaram baixos níveis de produtividade.

No ano de 2009, houve diferença significativa entre os sistemas de manejo e variedades de arroz (Tabela 53). O sistema de manejo em aléias apresentou a maior produtividade e os valores foram semelhantes à produtividade do ano anterior. As maiores diferenças ocorreram na roça no toco para a variedade IAC-47 com queda na produtividade em torno de 50% em relação ao ano de 2008. Nesse sistema a variedade Piauí foi favorecida, produzindo quase o dobro da variedade IAC-47 e atribui-se esse fato a maior adaptação da variedade Piauí às condições locais, mas também as condições de alagamento que pode ter contribuído para o pior desempenho da variedade IAC-47 no sistema de roça no toco. No sistema convencional não foram observadas diferenças entre as variedades de arroz, porém houve aumentos na produtividade.

Deve-se ressaltar que durante os dois cultivos, as plantas de arroz foram submetidas a regime de chuvas de grande intensidade, concentradas principalmente no final do ciclo sofrendo com o excedente hídrico no período de formação dos grãos o que pode ter afetado a translocação de N para a formação dos grãos.

Tabela 53 – Produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de grãos de variedades locais e melhoradas de arroz cultivadas em três sistemas de manejo (aléias, roça no toco e convencional), em dois anos consecutivos (2008 e 2009) no município de Miranda do Norte – MA.

Sistema de manejo	Produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)					
	2008			2009		
	Três Meses*	Bonança**	Média	Piauí*	IAC-47**	Média
Aléias	2.062,00 Aa	1.562,50 Ab	1.812,25 A	1.830,30 Aa	1.905,88 Aa	1.868,09 A
Roça no Toco	1.640,48 Ba	1.519,48 Aa	1.579,98 A	1.236,70 Ba	726,73 Cb	981,72 C
Convencional	850,00 Ca	900,00 Ba	875,00 B	1.368,30 Ba	1.554,50 Ba	1.461,40 B
CV(%)	29,35			17,53		

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na linha e letras iguais maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS ao nível de 5% de probabilidade

*Variedades locais, **Variedades melhoradas

De acordo com os resultados verificou-se que o sistema de manejo em aléias apresentou uma tendência de aumentos de produção em todas as variedades. Este resultado pode ser devido ao efeito acumulativo da mineralização dos ramos das leguminosas ao longo do experimento e também pode estar ocorrendo o efeito da fixação biológica de N, retenção de água e diminuição dos extremos microclimáticos pelas aléias de *Clitoria fairchildiana* (sombreiro). A cobertura do solo e o aporte de N através dos ramos das leguminosas favoreceram o aumento da produtividade das variedades de arroz nesse sistema de manejo.

Vale ressaltar que no sistema convencional a introdução da mecanização não representa simplesmente uma inovação tecnológica isolada. Ela não faz parte das práticas agrícolas da agricultura itinerante, mas é ligada à transição da agricultura itinerante para a agricultura permanente. Isso significa mudanças profundas no sistema de produção par ao pequeno

agricultor, que normalmente ocorrem apenas quando o sistema tradicional de corte e queima não é mais viável (p.ex., em função da falta de área com capoeira ou floresta virgem suficiente ou impedimentos em função de novas leis).

A massa de 1.000 grãos apresentou diferença significativa entre os sistemas de manejo somente no ano de 2009 e em média no sistema em aléias foram observados os maiores valores. As variedades Três Meses e Piauí apresentaram maior massa e estes valores foram maiores no ano 2009 em relação ao ano de 2008, e estão dentro dos valores reportados na literatura e mencionados anteriormente no capítulo I (Tabela 54).

Tabela 54 - Valores médios de peso fresco e seco de panícula, peso seco de grãos e peso de 1000 grãos de variedades de arroz (locais e melhoradas) em sistema de cultivo em aléias no município de Miranda do Norte – MA, em dois anos consecutivos (2008 e 2009).

Sistema de Manejo	Variedades de Arroz					
	2008			2009		
	Três Meses*	Bonanaça**	Média	Piauí*	IAC-47**	Média
Peso seco de panícula (g/planta)						
Aléias	218,83	207,41	213,12 A	202,05	209,28	205,66 A
Roça no Toco	178,31	172,24	175,27 B	153,29	102,39	127,84 B
Convencional	122,99	123,92	123,46 C	150,59	186,43	168,51 B
CV(%)	16,35			24,18		
Peso seco de grãos (kg/planta)						
Aléias	0,206 Aa	0,156 Ab	0,181 A	0,183 Aa	0,190 Aa	0,186 A
Roça no Toco	0,164 Ba	0,152 Aa	0,158 A	0,125 Ba	0,070 Cb	0,097 C
Convencional	0,085 Ca	0,090 Ba	0,087 B	0,135 Ba	0,155 Ba	0,145 B
CV(%)	29,35			18,20		
Peso de 1000 grãos (g/planta)						
Aléias	27,45	25,65	26,55 ns	35,80	33,98	34,89 A
Roça no Toco	28,48	26,70	27,59 ns	32,23	29,73	30,98 B
Convencional	26,15	25,70	25,93 ns	31,18	30,40	30,79 B
CV(%)	4,15			4,09		
Proteína Bruta do Grão ()						
Aléias	14,50 Aa	10,27 Ab	12,38 A	9,81	8,97	9,39 A
Roça no Toco	9,44 Ca	7,98 Ba	8,71 B	9,95	9,03	9,33 A
Convencional	10,14 Ba	9,61 Aa	9,87 B	8,76	7,82	8,29 B
CV(%)	13,41			5,66		

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na linha e letras iguais maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste DMS ao nível de 5% de probabilidade. * Variedades locais, **Variedades melhoradas.

Com relação ao peso seco de panículas, peso seco de grãos e proteína bruta dos grãos foi observado diferenças significativas entre os sistemas de manejo e entre as variedades de arroz (Tabela 54). Para esses parâmetros nos dois anos de cultivo o sistema em aléias mostrou-se superior a roça no toco e ao sistema convencional e as variedades locais Três Meses e Piauí apresentaram o maior peso seco de panículas e maior teor de proteína bruta nos grãos.

Pode-se perceber pelos resultados da análise conjunta incluindo os resultados de produtividade (Tabelas 53 e 54) que entre as variedades sempre cocorreu diferença significativa e que o comportamento dessas variedades em todos nos três sistemas de manejo seguiu o mesmo padrão. Comparando-se os três sistemas, novamente o sistema agroflorestal em aléias produziu significativamente mais grãos ($t \cdot ha^{-1}$) que o sistema de roça no toco e convencional.

4.5.7. Teor de amônio e nitrato no solo

Foram observadas interações significativas ($p < 0,05$) quanto à distribuição dos teores de amônio e nitrato no solo em profundidade no sistema de manejo em aléias e no sistema de roça no toco (Figuras 81 a 86). Nas coletas realizadas em Janeiro/2008 as maiores diferenças ocorreram entre as épocas em que as amostras foram coletadas sendo na última coleta foram registrado os maiores teores tanto de nitrato quanto do amônio (Figura 81).

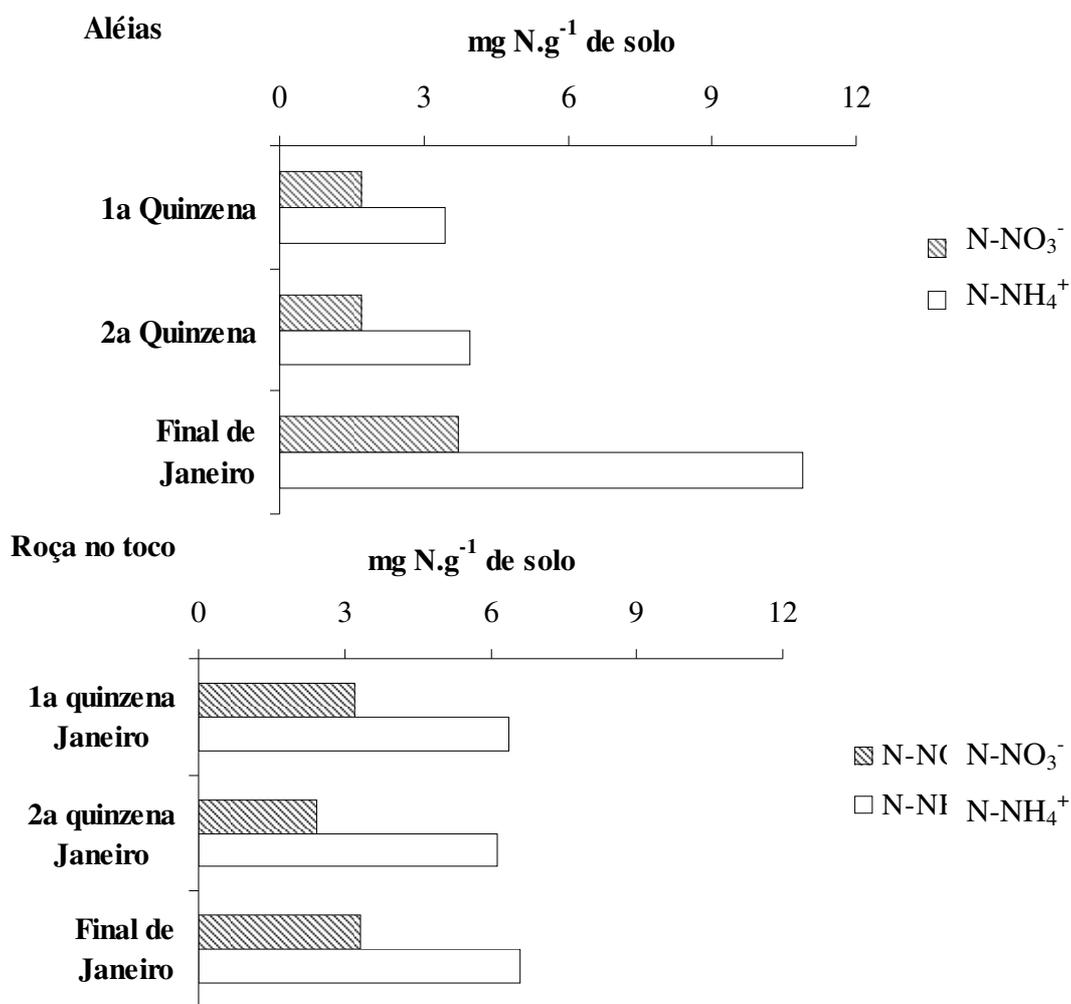


Figura 81 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas no início da estação chuvosa (janeiro de 2008) de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte – MA.

Nas coletas realizadas no final de 2008 e final de 2009 verificou-se que no início da estação chuvosa os teores de nitrato e amônio foram mais elevados, porém não diferiram significativamente dos teores encontrados na estação seca não evidenciando acúmulo de nitrato (Figuras 82 e 83). Nos dois sistemas de manejo as concentrações de amônio foram sempre maiores que as de nitrato (Figuras 81 a 83). Os maiores teores de amônio e nitrato no início da estação chuvosa ocorreram na roça no toco nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm (Figuras 84 a 86). Na estação seca foram observadas variações em profundidade para as concentrações desses íons, porém na profundidade de 0-5 cm sempre registraram teores mais elevados de nitrato e amônio.

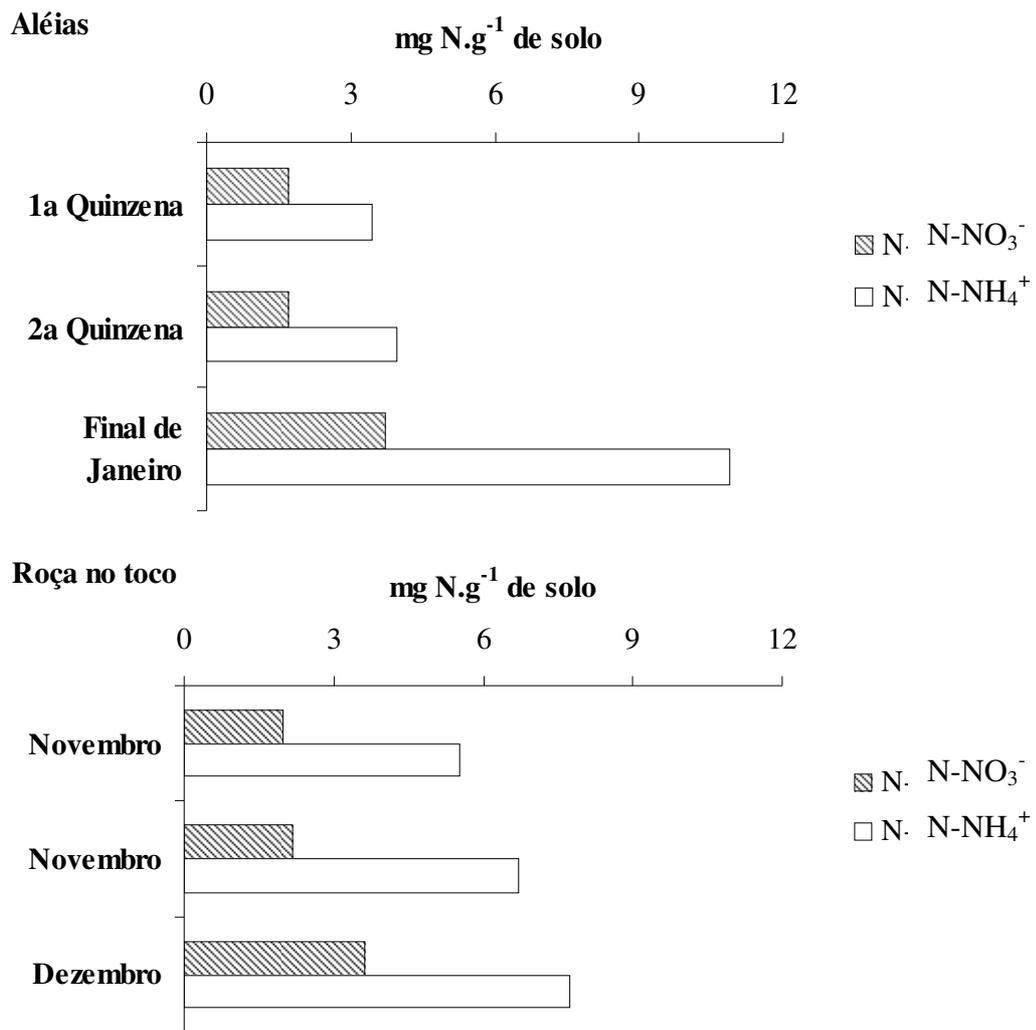


Figura 82 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas no final da estação seca e início da estação chuvosa de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte – MA no ano de 2008.

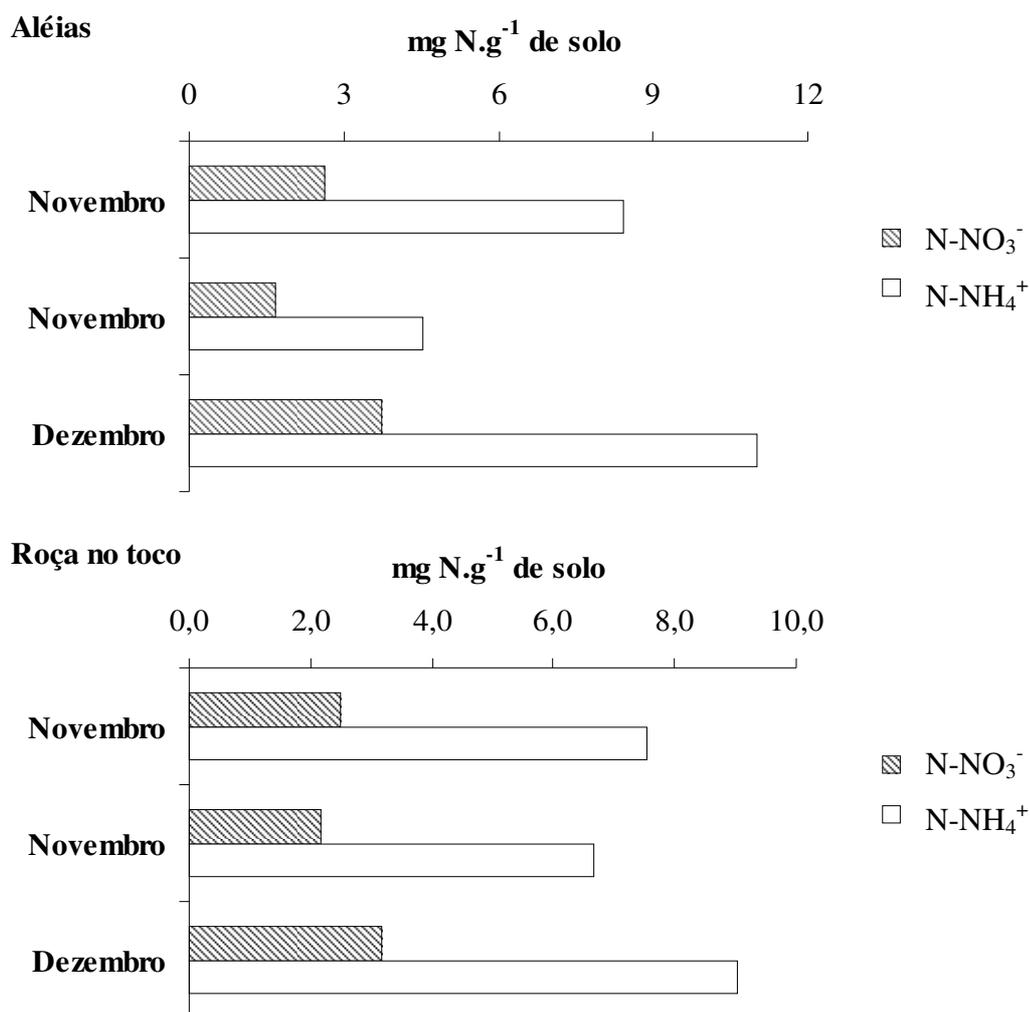


Figura 83 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas no final da estação seca e início da estação chuvosa de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte – MA no ano de 2009.

Os dados da umidade do solo nos diferentes períodos de coleta mostram que houve diferença nas médias entre os dois sistemas de manejo e a diferentes profundidades ($p < 0,05$). Os dados mostraram grande variabilidade e o conteúdo de umidade foi maior nas aléias com variações nas profundidades mesmo na estação seca (Figura 87). O aumento na quantidade de água no solo é atribuído a quantidade de material vegetal na superfície, graças à cobertura do solo nesse sistema ocorre uma redução da taxa de evaporação do solo, tornando menor o fluxo ascendente de água no perfil o que torna o somatório de água armazenada no perfil maior nesse sistema. Com relação à variação da umidade entre os sistemas de manejo com as profundidades os maiores teores de umidade foram observados no início da estação chuvosa com maiores valores nas camadas superficiais.

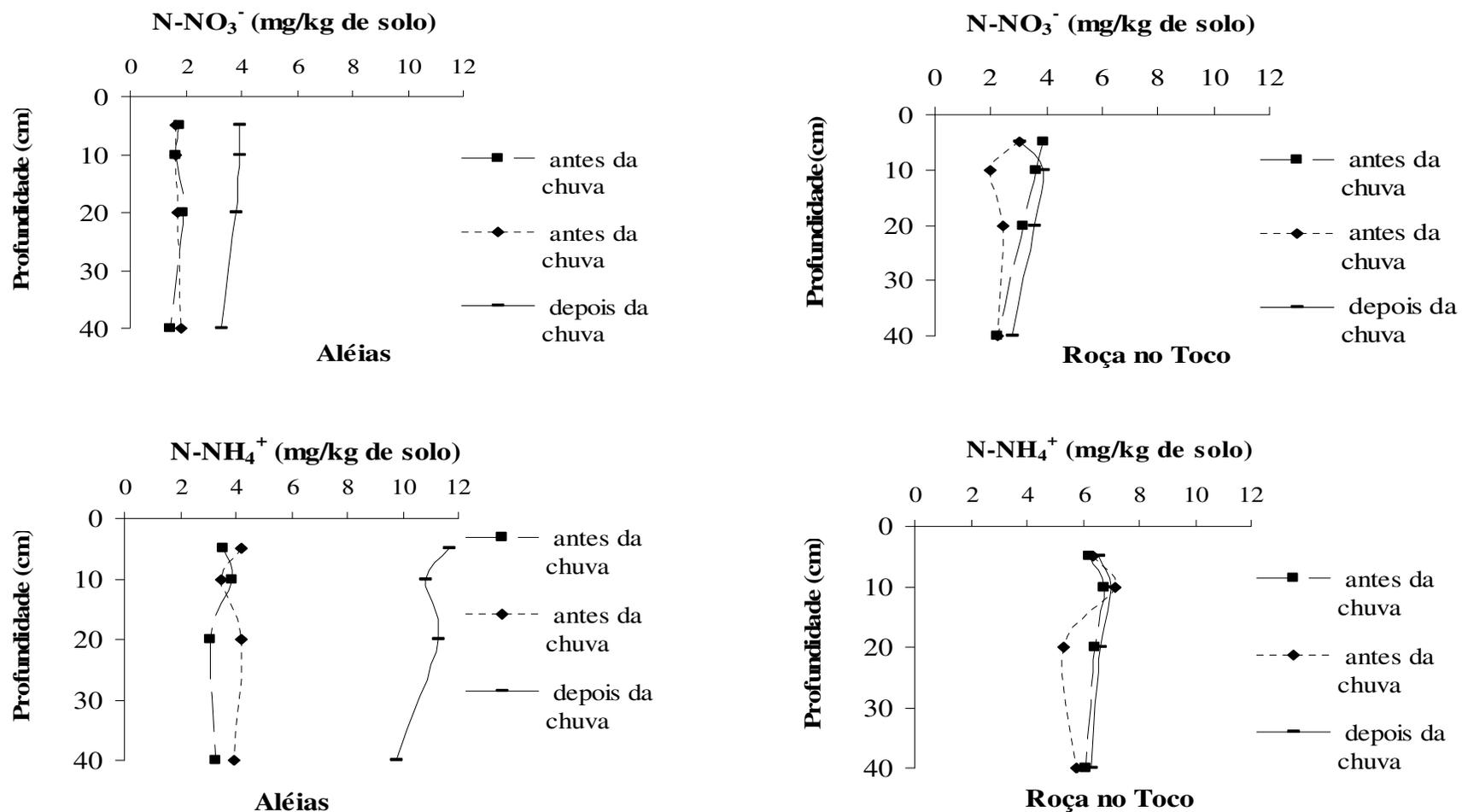


Figura 84 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no início da estação chuvosa (Janeiro) de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte – MA no ano de 2008.

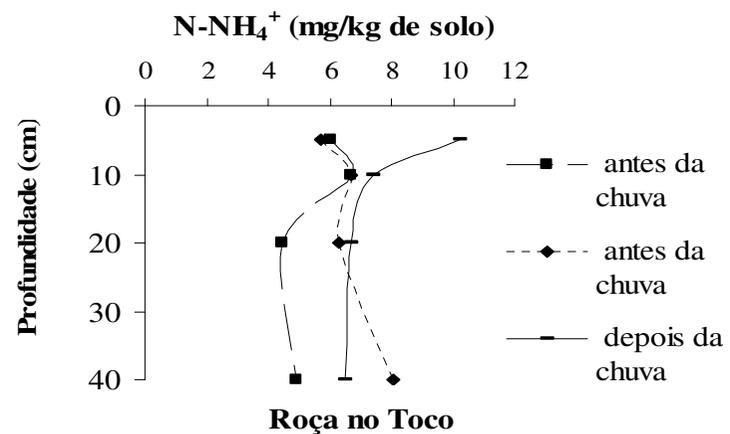
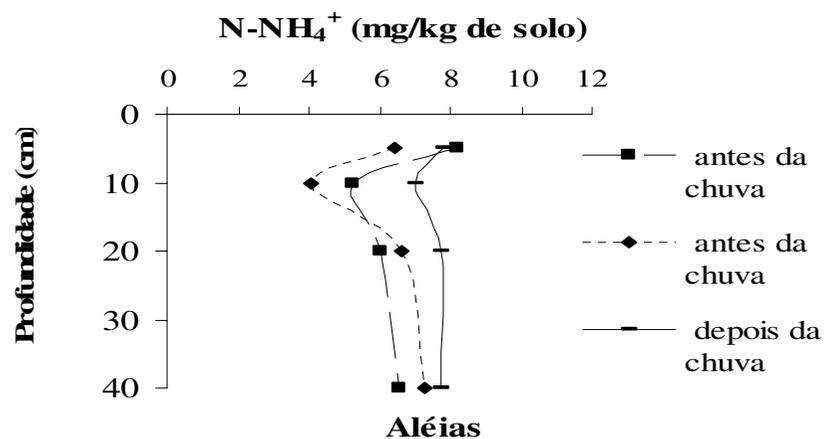
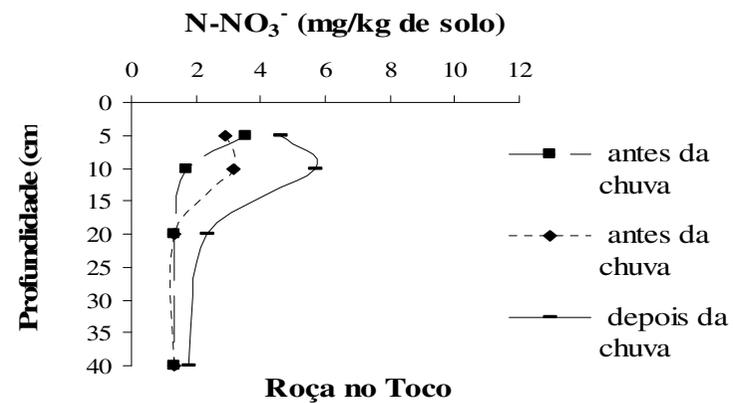
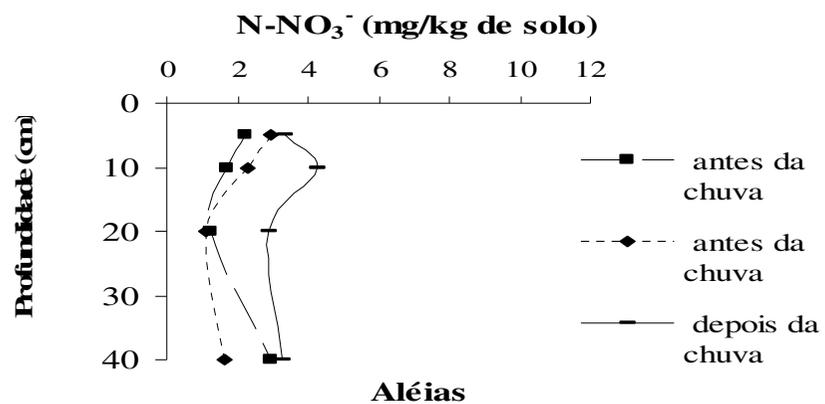


Figura 85 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no final da estação seca e início da estação chuvosa (Novembro e Dezembro) de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte – MA no ano de 2008.

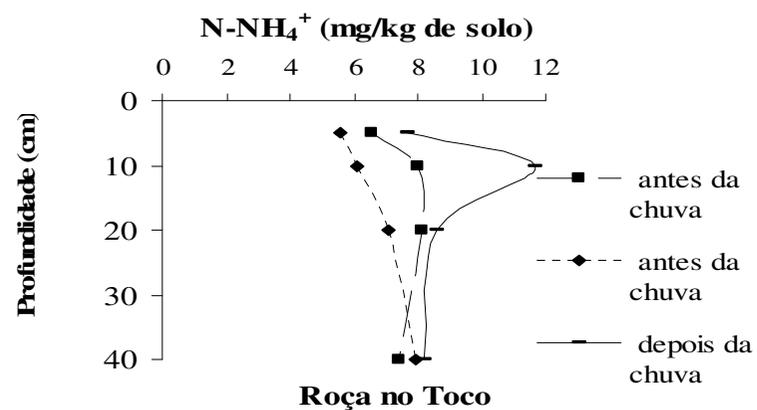
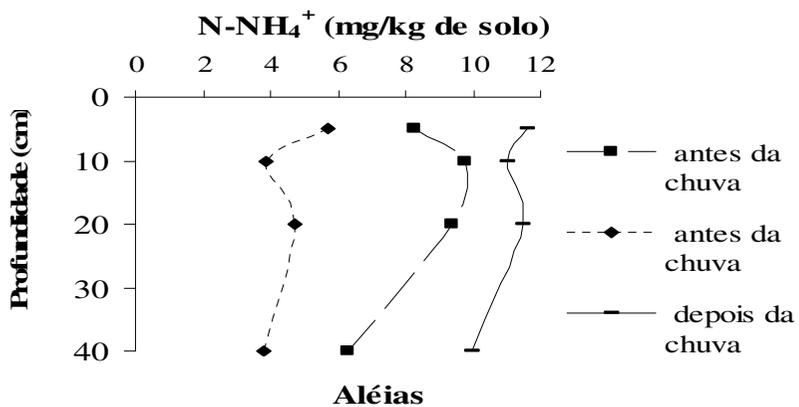
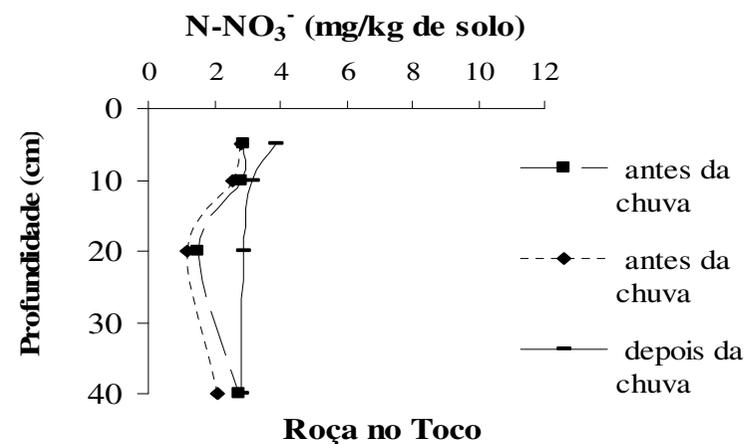
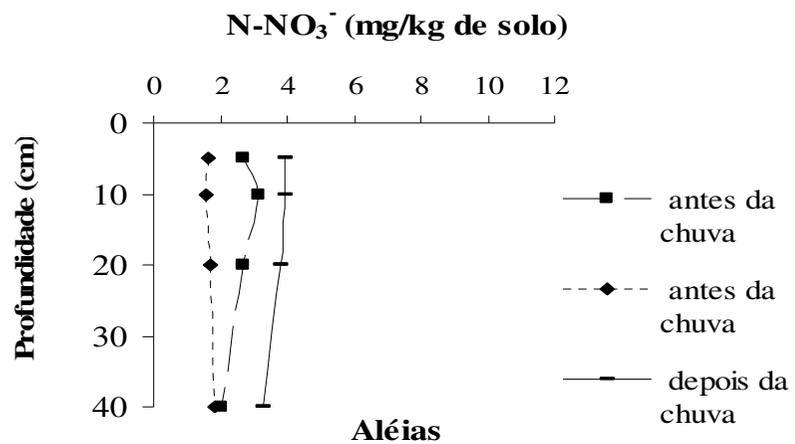


Figura 86 - Teores médios de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em amostras de solo retiradas de diferentes profundidades, no final da estação seca e início da estação chuvosa (Novembro e Dezembro) de uma área com leguminosas em aléias e outra área queimada no município de Miranda do Norte - MA no ano de 2009.

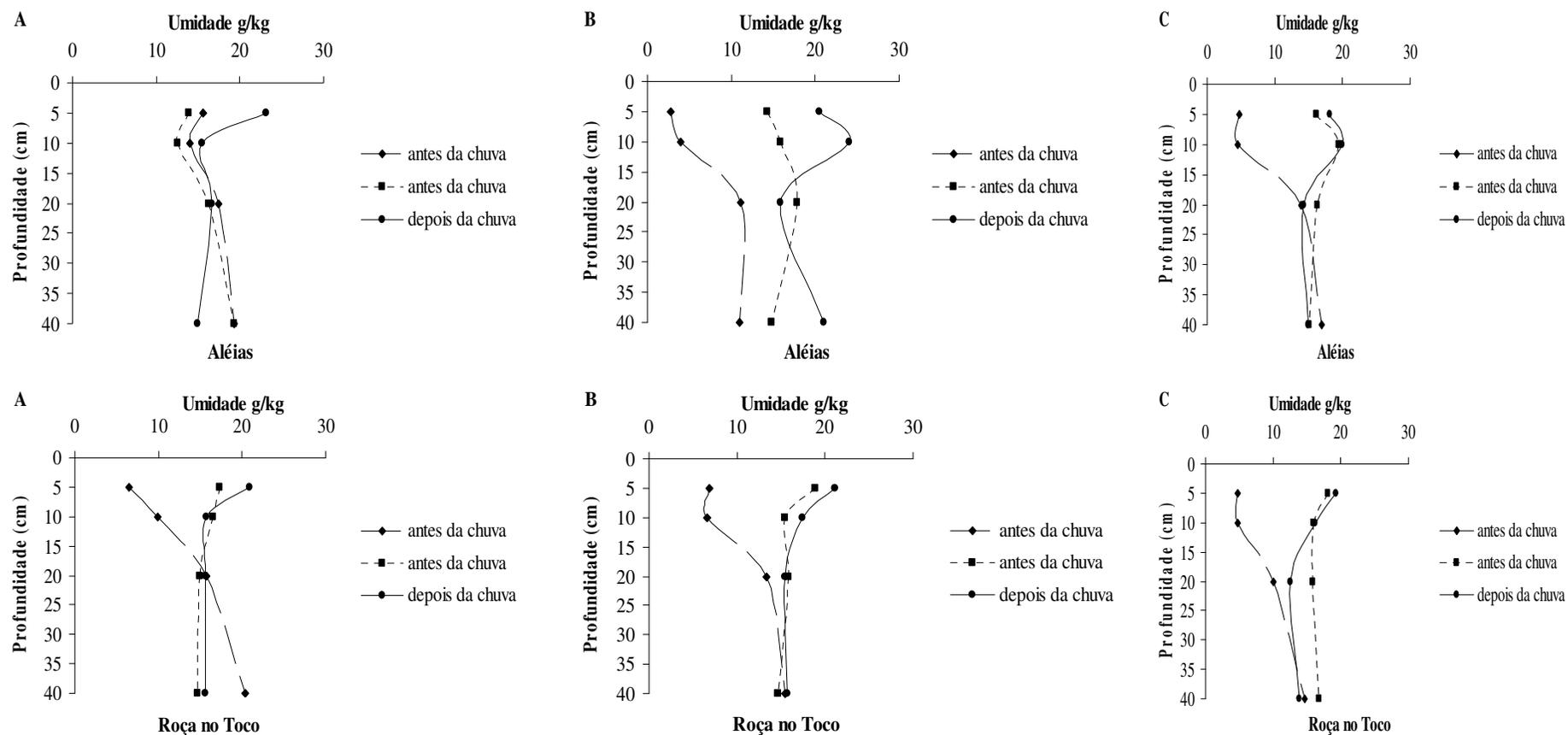


Figura 87 - Umidade do solo em amostras retiradas de diferentes profundidades, em três épocas de amostragem: A - início do período chuvoso (Janeiro/2008), B - final do período seco e início do período chuvoso (Novembro e Dezembro de 2008) e C - final do período seco e início do período chuvoso (Novembro e Dezembro de 2009) de uma área com aléias e outra queimada (roça no toco).

5. CONCLUSÕES

- O sistema agroflorestal em aléias, com leguminosas de *Clitória fairchildiana* (sombreiro), promoveu ganhos significativos entre as variedades locais e melhoradas de arroz que diferiram em produtividade e acúmulo de nitrogênio, quando comparado aos sistemas de roça no toco e convencional, tornando-se um sistema promissor para utilização pelos agricultores familiares do estado do Maranhão em substituição ao sistema tradicional de corte e queima
- Sob condições de baixa fertilidade e consequente deficiência de nitrogênio no solo as variedades locais responderam à variação sazonal de N apresentando maior controle no processo de remobilização de NO_3^- através da utilização de estratégia de remobilização do NO_3^- armazenado na bainha durante o período inicial de desenvolvimento das plantas para utilização nos estádios mais tardios de desenvolvimento independente do sistema de manejo em que as plantas foram cultivadas.
- Os sistemas de manejo em aléias e de roça no toco possuem características intrínsecas que atuam diretamente sobre a decomposição da MOS e, aliadas às condições do solo da área de roça no toco estar alagado ou não, determinam a capacidade do solo em mineralizar N. Desta forma, as diferenças na capacidade do solo em função do manejo mineralizar N, resultam em diferenças na disponibilidade de N e, conseqüentemente, na absorção e na eficiência de uso de N pelas variedades de arroz.
- Não foram encontrados picos de nitrato no solo entre o final do período seco e início do período chuvoso tanto na área com aléias quanto na área queimada (roça no toco). Os maiores valores de amônio e nitrato foram encontrados nas primeiras camadas do solo (0-10 cm) e os teores de amônio foram sempre mais elevados que os de nitrato.

6. CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos nos dois anos do experimento não confirmaram totalmente as hipóteses testadas. Nas condições que o trabalho foi desenvolvido, a análise *in situ* da disponibilidade sazonal de NO_3^- no solo no final do período seco e início do período chuvoso não evidenciou “flush” sazonal de nitrato no solo nas áreas dos experimentos. Os teores de N mineral (NO_3^- e NH_4^+) nos solos mostraram predomínio do íon amônio em relação ao nitrato, tanto no final da estação seca como no início do período chuvoso, com pequenas variações entre o teor de amônio e o de nitrato em todos os sistemas.

Mesmo em condições edafoclimáticas distintas, foi possível perceber que o metabolismo de N na cultura do arroz difere entre variedades locais e melhoradas. Os resultados demonstram que as variedades locais de arroz apresentam tendência de maior adaptação às condições de cultivo e têm estratégia de armazenamento e remobilização de NO_3^- que as permitem serem mais eficientes na utilização do N absorvido, independente das variações na disponibilidade dos conteúdos inorgânicos de N no solo. A remobilização do NO_3^- acumulado no vacúolo das variedades locais de arroz foi mais lenta no período de crescimento vegetativo, garantindo assim maior aporte de N na fase reprodutiva onde todo esse N armazenado é então remobilizado para a produção e acúmulo de proteínas nos grãos.

Nos dois experimentos e nos dois anos de cultivo, o sistema agroflorestral em aléias com suas práticas de manejo, mostrou-se sempre superior às testemunhas (sistema sem aléias, roça no toco e convencional), e possibilitaram melhoria nos atributos químicos e físicos dos solos principalmente pela produção de biomassa para cobertura, que contribuiu para a conservação do solo e assim, para a melhoria de sua fertilidade, porém, não influenciou significativamente a produtividade do arroz entre as variedades locais e melhoradas de arroz.

No município de São Luis - MA, embora o sistema em aléias tenha sido estabelecido na área há quase dez anos, os níveis de fertilidade não permitiram respostas significativas à disponibilidade de nitrogênio para as plantas do arroz, mesmo associado à adição de fertilizantes químicos. Isto explicaria a ausência de resposta entre as variedades, em relação à maioria das variáveis avaliadas. A produtividade foi baixa, porém os tratamentos resultantes da combinação das leguminosas em aléias destacaram-se em relação às parcelas sem aléias.

No município de Miranda do Norte – MA, o sistema em aléias teve melhor desempenho, talvez decorrente das condições de clima e solo. Na roça no toco foram evidenciadas alterações nos teores de nitrato e amônio nos tecidos foliares das variedades de arroz. Porém, parte das alterações provavelmente decorreu do alagamento da área que alterou a dinâmica do N no solo.

No período inicial de crescimento das plantas de arroz ocorre acúmulo de NO_3^- na bainha foliar, enquanto que nas folhas o NO_3^- é assimilado em maior intensidade. A quantidade de N que a planta de arroz necessita varia conforme a sua fase de crescimento ou desenvolvimento e das condições ambientais. O período de maior absorção encontra-se por ocasião do enchimento dos grãos, entre as fases de perfilhamento e início da fase reprodutiva.

Em ambos os experimentos, o volume de precipitação e a insolação foram os parâmetros que mais variaram nos períodos de cultivo, sugerindo que eles podem estar relacionados com as variações apresentadas pelas variedades locais e melhoradas de arroz.. Deve-se destacar que em condições de campo a absorção do N pelas variedades de arroz apresentou padrão diferenciado com relação aos resultados obtidos em laboratório para alguns parâmetros, e que a alta variabilidade constatada dentro da mesma parcela experimental para algumas avaliações dificultou a detecção de diferenças estatísticas entre as variedades.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, C. **Caiçaras na Mata Atlântica: pesquisa científica versus planejamento gestão ambiental**. São Paulo: Annablume: Fapesp. 2000. 338p.
- AGRELL, D.; LARSSON, C.M.; LARSSON, M. Initial kinetics of ¹⁵N-nitrate labelling of root and shoot N fractions of barley cultured at different relative addition rates of nitrate-N **Plant Physiology and Biochemistry**, v.35, p.923-931. 1997.
- AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Disponível em www.agritempo.gov.br, consultado em 12 dez. 2005.
- AGUIAR, A. das C. F. **Sustentabilidade do sistema plantio direto em Argissolo no trópico úmido**. 2006, 55f. Tese (Doutorado em Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, São Paulo. 2006.
- AIDAR, M.P.M.; SCHMIDT, S.; MOSS, G.; STEWART, G.; JOLY, C. A. Nitrogen use strategies of neotropical rainforest trees in threatened Atlantic Forest. **Plant, Cell and Environment**, v.26, p. 389-399. 2003.
- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. (Coords.) **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria, Pallotti, 1997. p.76-111.
- ALCÂNTARA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. de; MESQUITA, H. A. de; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 35, p. 277-288, 2000.
- ALCOCHETE, A. A. N. de. **Diversidade genética e mapeamento de QTLs do sistema gênico de macho-esterilidade termosensível (TGMS) do genoma de arroz (*Oryza sativa* L.)**.2005. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, Área de Concentração: Biologia Molecular) -Universidade de Brasília – Brasília, Distrito Federal. 2005.
- ALTIERI, M. A. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 93, p. 1-24, 2002.
- ALVES, B. J. R.; SANTOS, J.C.F. dos; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. (Ed) **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. EMPRESA Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Centro Nacional de Soja. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1994. 542p. (EMBRAPA_CNPAP; Documentos 46).
- ALVES, S. M. C.; ABOUD, A. C. de S.; RIBEIRO, R. de L. D.; ALMEIDA, D. L. de. Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliça após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.39, n.11, p. 1111-1117, 2004.
- AMADO, T.J.C.; FERNANDEZ, S.B.; MIELNICZUK, J. Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in southern Brazil. **J Soil and Water Conserv**, v.53, p.268-271, 1998.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativas da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo de culturas de cobertura do solo. **R. Bras de Ci. do Solo. Viçosa**, v.24. p.179-189. 2000.

ANCHENG, L.; JIANMING, X.; XIAOE, Y. Effect of nitrogen (NH₄NO₃) supply on absorption of ammonium and nitrate by conventional and hybrid rice during reproductive growth. In: BARROW, N. J. (Ed), **Plant Nutrition: from genetic engineering to field practice**, The Hague: Kluwer Academic Publishers. p.540-547. 1993.

ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.

ARAÚJO, K. D. **Variabilidade temporal das condições climáticas sobre as perdas de CO₂ na encosta do açude Namorados, em São João do Cariri – PB**. 2005, 101f. Dissertação- (Mestrado em Manejo de Solo e Água)- Universidade Federal da Paraíba. Areia, Paraíba, 2005.

ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E. de; CUSCIOL, C.A.C.; PEREIRA, J.C.dos R.P. Preparo do solo, irrigação por aspersão e rendimento de engenho do arroz de terras altas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.321-326, abr/jun. 2002.

ARIMA, Y. Uptake and accumulation of nitrogen. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (Ed.). **Science of the rice plant**. Tokyo: Physiology, Food and Agricultural Policy Research Center, 1995. v.2, p.327-343.

ARMSTRONG, W.; BRAENDLE, R.; JACKSON, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, v. 43, p. 307-358, 1994.

ASLAM, M.; TRAVIS R.; HUFFAKER, R. Comparative kinetics and reciprocal inhibition of nitrate and nitrite uptake in roots uninduced and induced barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. **Plant Physiology**, Rockville, v.99, p.1124-1133, 1992.

ASLAM, M.; TRAVIS, R. L.; HUFFAKER, R. C. Comparative induction of nitrate and nitrite uptake and reduction systems by ambient nitrate and nitrite in intact roots of barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. **Plant Physiology**, v.102, p.811-819, 1993.

BALA, A.; MURPHY, P.; GILLER, K.E. Distribution and diversity of rhizobia nodulating agroforestry legumes in soil from three continents in the tropics. **Molecular Ecology**, v.12, p.917-930, 2003.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v. 36, p. 1287-1293, 2001.

BASTOS, T.X.; SÁ, T.D.A. **Anuário Agrometeorológico**. IPEAN. Ministério da Agricultura (Brasil), 1971. 45p.

BAUER, A.; BLACK, A. L. Soil carbon, nitrogen and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.45, p. 1166-1170, 1981.

BAYER, C. **Dinâmica de matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 240f. Tese (Doutorado em Ciência do solo)- Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1996.

BAYER, C. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. FERTBIO, 26., 2004, Lages. **Anais...** Lages: UDESC e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CDROM.

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, p.23-28, 1998.
- BEATTY, P.H.; YADETA ANBESSA, Y.; JUSKIW, P.; CARROLL, R.T.; WANG, J.; GOOD, A. Nitrogen use efficiencies of spring barley grown under varying nitrogen conditions in the field and growth chamber. **Annals of Botany**, v.105, p. 1171–1182, 2010.
- BENE, J.G.; BEALL, H.W.; COTE, A. **Trees, food and people: land management in the tropics**. Ottawa: International Development Research Centre, 1977. 89 p.
- BIANCHET, P. **Períodos de drenagem do solo no perfilhamento em arroz irrigado cultivado no sistema pré-germinado**. 2006. 90p. Dissertação (Mestrado de Agronomia) – Centro de Ciências Agroveterinárias/ UDESC Lages, 2006.
- BLOOM, A.J.; SUKRAPANNA, S.S.; WARNER, R.L. Root respiration associated with ammonium and nitrate absorption and assimilation by barley. **Plant Physiol.**, v.99, p. 1294-1301, 1992.
- BONATO, C.M., RUBIN FILHO, C.J., MELGES, E.; SANTOS, V. **Nutrição mineral de plantas**. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 1998, 137p.
- BRADY, N.C.. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372. 2000.
- BREWBAKER, J.L. The tropical environment of maize cultivation. In: BRANDOLINI, A.; SALAMINI, F. (Ed.). **Breeding strategies for maize production improvement in the tropics**. Rome: FAO, 1985. p.47-77.
- BRITTO, D.T.; SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M.; KRONZUCKER, H.J. (b) Futile transmembrane NH_4^+ cycling: A cellular hypothesis to explain ammonium toxicity in plants. **PNAS**, New York, vol. 98, n..7, p.4255-4258, 2001.
- BRITTO, D.T.; SILVA, B. da; BELTRÃO, N. G. de M. Importância do sistema de aléias em cultivos dependentes de chuvas. III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO. **Anais...** Petrolina, PE, 2001.
- BROADBENT, F. E; DE DATTA, S. K., LAURELES E. V. Measurement of nitrogen utilization efficiency in rice genotypes. **Agronomy Journal**, v.79, p. 786-791. 1987.
- BROWN, N.; LUGO, A.E.. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, p.1-32. 1990
- BURESH, R.J.; TIAN, G. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. **Agroforestry Systems**, v.38, p.51-76, 1998.
- BUREST, R.J.; DATTA, S.K. Nitrogen dynamics and management in Rice legume cropping systems. **Advances in Agronomy**, New York, v.45, p.1-58, 1991.
- BURLE, M.L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics with emphasis on soil acidification. **Plant Soil**, v.190, p.309-316, 1997.
- BUZETTI, S.; BAZANINI, G. C.; FREITAS, J. G. DE; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. DE ; MEIRA, F. DE A. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de cloromequat. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.41, n.12, p.1731-1737, dez. 2006.

CAÍRES, E. F. Manejo na fertilidade do solo no sistema plantio direto: Experiências no estado do Paraná IN: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24. 2000, **Anais...** Santa Maria. Fertbio, 2000. CDROM.

CAGAMPANG, G. B.; CRUZ, L. T.; ESPIRITU, S. G.; JULIANO, B. G. Studies on the extraction and composition of Rice proteins. **Cereal Chem.**, v.45, p.225-235, 1966.

CAMARGO, C.E.O.; FREITAS, J.G.; CANTARELLA, H.. Trigo e triticale irrigado. In RAIJ, B. van, CANTARELLA, H., GUAGGIO, J.A., FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico, 285p. 1997 (Boletim técnico, 100).

CAMARGOS, L. S. de. **Análise das alterações no metabolismo de nitrogênio em *Canavalia ensiformes* (L) em resposta a variações na concentração de nitrato**. Piracicaba, 2002. 113p. Dissertação (Mestrado em Ciências- Área de concentração em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz. Piracicaba, São Paulo. 2002.

CAMPBELL, W.H. & SMARRELLI JÚNIOR, J. Nitrate reductase: biochemistry and regulation. In: NEYRA, C.A, ed. **Biochemical basis of plant breeding: nitrogen metabolism**. Florida, CRC Press, 1986. v.2, cap.1, p.1-39.

CAMPBELL, W.H. Nitrate reductase structure, function and regulation: bridging the gap between biochemistry and physiology. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v.50, p.277-303, 1999.

CANTARELLA, H. Nitrogênio In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, M. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007, 1017p.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J. ; RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7, Londrina, 1999. **Anais**. Álcool Subpr., Londrina, 1999. p.82-87.

CARDENAS - NAVARRO, R. . Nitrate accumulation in plants: a role for water. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v.50, n.334, p.613-624, 1999.

CARELLI M.L.C., FAHL J.I., RAMALHO J.D.C. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v.18, n.1, p. 9-21, 2006.

CARMO, J.B. do; NEILL, C.; MONTIEL, D. C. G.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C.C.; STEUDLER, P. A.; ANDRADE, C A.; PASSIANOTO, C. C.; FEIGL, B. J.; MELILLO, J. M. Nitrogen dynamics during till and no-till pasture restoration sequences in Rondônia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Kluwer Academic Publishers, V. 71, p. 213-225. 2005.

CARVALHO, P.G. **Efeitos do nitrogênio e no metabolismo de frutanos em *Vernonia herbácea* (Vell.) Rusby**. 2005, 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2005.

CATALDO, D.; HARRON, M.; SCHARADER, L. E. & YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, US., v.6, p.853-855, 1975.

- CERETTA, C.A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho, no sistema de plantio direto. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. **Atualização em recomendação de adubação e calagem ênfase em plantio direto**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Pallotti, 1997, p.112-124.
- CHENG, C.L.; ACEDO, G.N, CRISTINSIN, M.; CONKLING, M. A. Sucrose mimics the light induction of Arabidopsis nitrate reductase gene transcription. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 89, p.1861-1864. 1992.
- CHIKOWO, R., MAPFUMO, P., NYAMUGAFATA, P.; GILLER, K.E. Mineral N dynamics, leaching and nitrous oxide losses under maize following two-year improved fallows on a sandy loam soil in Zimbabwe. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.259, p.315-320, 2004.
- CLARKSON, D. T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE RECICLAGEM DE NUTRIENTES E AGRICULTURA DE BAIXOS INSUMOS NOS TRÓPICOS. 1985, **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBCS (Eds) 1985.p.45-76.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA, A. F. C. PITTA, Balanço de nitrogênio (¹⁵N) em um Latossolo Vermelho-Escuro sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.15, p.187-193, 2002.
- CONAB Arroz-Brasil: série histórica de produção, produtividade e área plantada das safras de 1976/77 e 2005/2006. Disponível em <[HTTP://WWW.conab.gov.br/download/safra/arrozSeriehist.xlsx](http://WWW.conab.gov.br/download/safra/arrozSeriehist.xlsx)> Acessado: em 21/10/2009.
- CONTI, J.B.; FURLAN, S.A.. Geoeecologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, J.L. (Org.). **Geografia do Brasil**. São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo, p.67-207. 2003.
- COOPER, P.J.M.; LEAKEY;R.R.B.; RAO, M.R.; REYNOLDS, L. Agroforestry and the mitigation of land degradation in the humid and sub-humid tropics of Africa. **Experimental Agriculture**.bCambridge, 21: 235-290, 1996.
- COPIJN, A. N. **Agrossilvicultura sustentada por sistemas agrícolas ecologicamente eficientes**. Rio de Janeiro: PTA, 1988. 46 p.
- CORUZZI, G.; BUSH, D.R. Nitrogen and carbon nutrient and metabolite signaling in plants. **Plant Physiology**, v.125, p.61-64, 2001.
- COSTA, F.J.S.A.; BOULDIN D.R. & SUHET, A.R., Evaluation of N recovery from mucuna placed on the surface or incorporated in a Brazilian Oxisol. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 124 p.91-96, 1990.
- CRAWFORD, N. M. Nitrate: nutrient and signal for plant growth. **The Plant Cell**, v.7, p.859-868, 1995.
- CRAWFORD, N.M.; GLASS; A.D.M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. **Trends Plant Science**, v. 3, p.389-395. 1998.
- CRUZ, L. J.; CAGAMPANG, G. B.; JULIANO, B. G. Biochemical factors affecting protein accumulation in Rice grain. **Plant Physiol**, v. 46, p. 743-747, 1970.
- DA SILVA, J. E.; LEMAINSKY, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações em solos coma capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrado do oeste baiano. **R. Bras. Ci. do Solo**, Campinas, v.18, p. 541-547, 1994.

- DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II total organic carbon and its rate of loss from the profile.. **Aust. J. Soil Res.**, v.24, p.281-292, 1986.
- DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. IV rate of loss of total nitrogen from the soil profile and changes in carbon:nitrogen ratios. **Aust. J. Agric. Pesq.**, v.37, p.493-504, 1986.
- DANSO, A.A.; MOGAN, P. Alley cropping rice (*Oryza sativa* var. barefitia) with cassia (*Cassia siamea*): soil fertility and crop production. **Agroforestry Systems**, v.21, p.147-158, 1998.
- DEAN, W.. A Ferro e fogo: **a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. Trad. São Paulo, Cia. Das Letras, 1996. 484p.
- DEANNE-DRUMMOND, C.E.; GLASS, A.D.M. Short-term studies of nitrate uptake into barley plants using ion-specific electrodes and $^{36}\text{Cl}_3$. II. Regulation of NO_3^- efflux by NH_4^+ . **Plant Physiol.**, Dordrecht, v.73, p.105-110, 1983.
- DOSE, M.M., HIRASAWA, M., KLEIS-SANFRANCISCO, S., LEW, E.L.; KNAFF, D.B.. The ferredoxin-binding site of ferredoxin: nitrite oxidoreductase. **Plant Physiology** v.114, p. 1047-1053. 1997.
- DUWIG, C.; BECQUER, T.; CLOTHIER, B. E.; VAUCLIN, M. A. Simple dynamic method to estimate anion retention in an unsaturated anion retention in an unsaturated soil. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, Palo Alto, v. 328, p. 759-764, 1999.
- DYNIA, J.F.; CAMARGO, O. A. Redução de nitrato num solo de carga variável influenciada por adubação fosfatada e calagem. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.34, n.1, p.141-144, 1999.
- ELLEN, R.. **Environment, subsistence and system: the ecology of small-scale social formations**. Cambridge University Press, Cambridge. 1982, 324 p.
- EMBRAPA – CNPS. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: EMBRAPA. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.
- EMBRAPA. **Aspectos socioeconômicos da produção de arroz. Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: 2004. p. 23-33. (Informação Técnica, 2004).
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. Mineral nutrition of plants: **principles and perspective**. 2 ed. Sunderland, Sinauer Associates, 2005. 400p.
- EUCLIDES, V.P.B.; VALLE, C.B.; SILVA, J.M.; VIEIRA, A. Avaliação de forrageiras tropicais manejadas para produção de feno-em-pé. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.25, n.3, p.393-407, 1990.
- FAGERIA, N. K. Optimal nitrogen fertilization timing for upland Rice. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.321-326, abr/jun. 2002.
- FAGERIA, N. K.; BALIGUAR, V.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2ed. New York: M. Dekker, 1997. 624p.
- FAGERIA, N. K. Yield physiology of rice. **Journal of Plant Nutrition**, v.30, n.5, p. 843-879. 2007.
- FAGERIA, N. K.; MORAES, O. P. Evolutions of rice cultivars for utilization of calcium an magnesium in the Cerrado soils. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília. N.22, p.667-672. 1987.

- FAGERIA, N. K.; MORAES, O. P.; BALIGAR, V. C.; WRIGHT, R. J. Response of rice cultivars to phosphorus supply on Oxisol. **Fertilizer Res.** n.16, p.195-206. 1988.
- FAGERIA, N. K.; WILCOX, G. E. Influência de nitrogênio e fósforo no crescimento do arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 30, n. 301, p.24-28, 1977.
- FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo do nitrogênio. In: FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. dos. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.51-94, 2003.
- FAGERIA, N.K.; BALICAR, V.C. Methodology for evaluation of lowland rice genotypes for nitrogen use efficiency. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.26, n.6, p.1315-1333, June 2003.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v.88, p.97- 185, 2005.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA, F.M.P. Evolutions of rice cultivars for low levels of soil phosphorus. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, n.12, p.142-151, 1982.
- FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx? Acesso em 10/11/2008>
- FARIAS FILHO, M. S.; FERRAZ JR., A. S. de L. A cultura do arroz em sistema de vazante na baixada maranhense, periferia do sudeste da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, GO, Brasil v. 39, n. 2, p. 82-91, abr./jun. 2009.
- FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. Características agronômicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, n. 3, p. 447-454. 2004.
- FELKER, P. Microdetermination of nitrogen in seed protein extracts with the salicylate-dichloroisocyanurate color reaction. **Anal. Chem.**, v. 49, p. 1080-1080, 1977.
- FERNANDES, M. S. N-carriers, light and temperature influences on the free-amino acid pool composition of rice plants. **Turrialba**, San Jose, Costa Rica, v.33, n.3, p.297-301, 1983.
- FERNANDES, M. S. N-carriers, light and temperature influences on uptake and assimilation of nitrogen by rice. **Turrialba**, San Jose, Costa Rica, v.34, p.9-18, 1984.
- FERNANDES, M.S. Efeitos de fontes e níveis de Nitrogênio sobre a absorção e assimilação de N em arroz. **Rev. Bras. de Fisiol. Vegetal**, Londrina, v.2, n.1, p.71-76, 1990.
- FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M. Dinâmica do nitrogênio no solo após a implantação de pastagem no pantanal Sul Matogrossense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 26, 1999. Brasília. **Resumos...** Brasília: SBCS, 1999.1CD-ROM.
- FERNANDES, M. S., ROSSIELLO, R. O. P. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.14, p.111-148, 1995.
- FERNANDES, M. S.; ROSSIELLO, R. O. P. Effect of NH_4^+ and a nitrification inhibitor on soil pH and phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.). **Cer. Res. Comum**, v.6, p. 183, 1978.
- FERNANDES, M.S., ROSSIELLO, R.O.P. Aspectos do metabolismo e utilização do nitrogênio em gramíneas tropicais. In: MATTOS, H.B., WERNER, I.C., YAMADA (eds). **Calagem e adubação de pastagens**. [S.l]: Assoc. Bras. Pesquisa da Potassa e do Fosfato., p.93-123, 1986.
- FERNANDES, M.S.; ROSSIELO, R.O.P. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. In: **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v.14, n.2, p.11-118, 1995.

- FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. Absorção de Nutrientes. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral d Plantas**. 1ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 432p, Viçosa, 2006.
- FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. A aquisição de N por plantas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE NITROGÊNIO EM PLANTAS, 1., 1990, Itaguaí. **Anais**. Itaguaí: Unicamp, 1990. p. 172-192.
- FERRARI, T. E.; YODER, O. C, FILNER, P. Anaerobic nitrite production by plant cells and tissues: evidence for two nitrate pools. **Plant Physiol**. v.51, p 423-431, 1973.
- FERRAZ JR, A. S. de L.; SOUZA, S. R. de; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S. Fitomassa, distribuição de raízes e aporte de nitrogênio e fósforo por leguminosas cultivadas em aléias em solo de baixa fertilidade. **Floresta e Ambiente**, v.13, n.1, p. 61-68, 2006.
- FERRAZ JR, A. S. de L. O cultivo em aléias como alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: MOURA, E. G. (org). **Agroambientes de transição-entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. Atributos; alterações; uso na produção familiar. São Luis: UEMA, 2004. p. 71-100.
- FERRAZ JR, A. S. de L.; SOUZA, S. R. de; FERNANDES, M, S. Ciclagem de nutrientes em sistema de cultivo em aléias. **Pesquisa em foco**. São Luis v.32, n.5, p.7-29, 1997.
- FERRAZ JR., A.S. de L. **Arroz de sequeiro em sistema de cultivo em aléias sobre solo de baixa fertilidade natural**. 2000, 168f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2000.
- FERRAZ JUNIOR, A. S. **Estudo do teor de proteína e eficiência de uso de N em cultivares de arroz (Oryza sativa L.)**. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo)- . Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-Rio de Janeiro, 186p., 1993.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDEZ, B.; CURTI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:507-514, 1999.
- FONSECA, J. R.; RANGEL, P. H.; BEDENDO. I.P; SILVEIRA, P. M; GUIMARÃES, E. P; CORANDIN L. **Características botânicas e agrônômicas de cultivares e raças regionais de arroz (Oryza sativa L.) coletadas no estado do Maranhão**. Goiânia: Embrapa – CNPAF-Cenegem, 1982, 42p. (Boletim de Pesquisa 1).
- FONSECA, J.R.; VIEIRA, E.H.N.; PEREIRA, J.A.; CUTRIM, V.A. Descritores Morfoagronômicos e fenológicos de cultivares de arroz coletados no Maranhão. **Revista Ceres**, v. 51, n. 293, p. 45-56, 2004.
- FORDE, B.G.. Nitrate transporters in plants: structure, function and regulation. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1465, p.219-235. 2000.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221p.
- FURLANI, P. R.; BATAGLIA, O. C.; AZZINI L.E. Comportamento diferencial de linhagens de nitrogênio em solução nutritiva. **R. Bras. de Ci. do Solo**. Campinas, v.10, p.51-59, 1986.
- FURLANI, P.R.; HANNA, L.G. Avaliação de tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. **R. Bras. de Ci. do Solo**, Campinas, v.8, p.205-208, 1984.
- GALANGAU, F.; DANIEL-VEDELE, F.; MOUREAUX, T.. Expression of leaf nitrate reductase gene from tomato and tobacco in relation to light/dark regimes and nitrate supply. **Plant Physiology**, v. 88, p. 383-388, 1988.

- GALLAIS, A.; HIREL, B. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.396, p.295-306, 2004.
- GARNIER, E.; GOBIN, O.; POORTER, H. Nitrogen productivity depends of photosynthetic nitrogen use efficiency and on nitrogen allocation within the plant. **Annals of Botany Company**, 76:667-672, 1995.
- GARRIDO, R.G. **Absorção e Assimilação de amônio em duas variedades de arroz: uma integração entre o metabolismo de nitrogênio e de carbono**. 2007, 77f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2007.
- GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Plantio direto**. Passo Fundp: Aldeia Sul, 1996, 207p.
- GATHUMBI, S.M.; CADISCH, G.; BURESH, R.J.; GILLER, K. Subsoil nitrogen capture in mixed legume stands as assessed by deep nitrogen-15 placement. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, p.573-582, 2003.
- GHOBRIAL, G. I. Response of irrigated dry seeded rice to nitrogen level, interrow spacing, and seeding rate in a semiarid environment. **International Rice Research**, Newsletter, v.8, n.4, p.27-28. 1983.
- GIANELLO, C.; GIASSON, E. Fatores que afetam o rendimento das culturas e sistemas de cultivos. In: BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade dos solos e adubação das culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004, cap. 2, p. 21-32.
- GILMOUR, J. T.; SKINNER, V. Predicting plant available nitrogen in land-applied biosolids. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 28, n. 6, p. 1122-1126, 1999.
- GLASS, A.D. Nitrogen Use Efficiency of Crop Plants: Physiological Constraints upon Nitrogen Absorption. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22:453-470, 2003.
- GOJON, A.; DAPOIGNY, L. Effects of genetic modification of nitrate reductase expression on ^{15}N uptake and reduction in nicotiana plants. **Plant Cell and Environment**, v.21, p.43-53, 1998.
- GOMES, A. da S.; MAGALHÃES Jr., A.M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004. 899p.
- GOMÉZ, M.E.; MOLINA, C.H.; MOLINA, E.J.; MURGUEITIO, E. Producción de biomasa en seis ecotipos de matarratón (*Gliricidia sepium*). **Livestock Research for Rural Development**, v.2, 1990. Disponível em: <<http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd2/3/gomez.htm>>. Acesso em: 16 abr. 2008.
- GÓMEZ-POMPA, A.; VÁZQUEZ-YANES, C. Studies on the secondary succession of tropical lowlands: **The life cycle of secondary species**. In: Proceedings, 1 st International Congress of Ecology, The Hague, The Netherlands. 1974.
- GREENLAND, D. I. Change in the nitrogen status and physical condition of soils under pastures, with special reference to the maintenance of the soil fertility of Australian soils used for growing wheat. **Soil and Fertility**, v.34, n.3, p.237-251, 1971.
- GREENLAND, D.J. Nitrate fluctuations in tropical soils. **Journal Agricultural Science**, Tokyo, v.50, p.82-91, 1958.
- GREGORICH, E.G.; JANSEN, H.H. Decomposition. In: SUMNER, E.M. (Ed.) **Handbook of Soil Science**. Flórida, p.100-114. 2000.

- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Adubação nitrogenada do arroz de terras altas no Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p. 210-214. 2003.
- GUTMAM, S. M. **Caracterização do sistema de produção lavrador-pescador em comunidades rurais no entorno do lago de Viana, na Baixada Maranhense**. 2005, 72 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Universidade Estadual do Maranhão. São Luis, Maranhão: 2005.
- HAAG, H.P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144 p.
- HARPER, J.E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K.J., BENNETT, J.M., SINCLAIR, T.R., eds. **Physiology and determination of crop yield**. Madison:ASA/CSSA/SSSA, p.285-302. 1994.
- HEILMEIER, H.; MONSON, R.K. Carbon and nitrogen storage in herbaceous plants. In: ROY, J.; GARNIER, E. (eds). **A Whole Plant Perspective on Carbon-Nitrogen Interactions**. SPB Academic Publishing, The Hague, pp. 149-171, 1994.
- HEIMER, Y. M.; FILMER, P. Regulation of nitrate assimilation pathway in cultured tobacco cells. III- The nitrate uptake system. **Biochim. Biophys. Acta**. n. 230, p 362-372, 1971.
- HEINEMAN, A. M.; OTIENO, H. J. O.; MENGICH, E. K.; AMADALO, A. Growth and yield of eight agroforestry tree species in line plantings in Western Kenya and their effect on maize yields and soil properties. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 91, p. 103-135, 1997.
- HIREL, B.; BERTIN, P.; QUILLERÉ, I.; BOURDONCLE, W.; ATTAGNANT, C.; DELLAY, C.; GOUY, A.; CADIOU, S.; RETAILLIAU, C.; FALQUE, M. ; GALLAIS, A. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. **Plant Physiology**, v.125, p. 1258- 1270, 2001.
- HUANG, N., CHIANG, C., CRAWFORD, N.M. CHL1 encodes a component of the low-affinity nitrate uptake system in Arabidopsis and shows cell type-specific expression in roots. **The Plant Cell**, Rockville, v.8, p.2183-2191, 1996.
- HUBER, S.C.; HUBER, J.L.; CAMPBELL, W.H.; REDINBAUGH, M.G. Comparative studies of light modulation of nitrate reductase and sucrose-phosphate synthase activities in spinach leaves. **Plant Physiology**, v.100, p.706-712, 1992.
- HUFTON, C.A. et al. Effects of NO (+ NO₂⁻) pollution on growth, nitrate reductase activities and associated protein contents in glasshouse lettuce grown hydroponically in winter with CO₂ enrichment. **New Phytologist**, Sheffield, v.133, p.495-501, 1996.
- IBGE- **Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** – Diretoria de Pesquisa – Departamento de Agropecuária. Estimativas da Produção Agrícola In: Home Page IBGE. Htt:\www.igbe.gov.br, acesso em 12/11/2010
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Levantamento Sistemáticos da Produção Agrícola. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>, acesso em 16/02/2011.
- INMET - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL (1961-1990). RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R. dos S.; FORTES, L. T. G. (Org). Brasília, DF: INMET, 465 p., 2009.
- JACKSON, P., W. L; MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J. Uptake, translocation, and reduction of nitrate. In: NEYRA, C.A. (ed.) **Biochemical basis of plant breeding: nitrogen metabolism**. Florida, CRC Press, 1986. v.2, cap.4, p.73-108.

- JACKSON, W.A.; FLESHER, D.; HAGEMAN, R.H. Nitrate uptake by dark-grown corn seedlings: some characteristics of apparent induction. **Plant Physiology**, Lancaster, v.51, p.120-127, 1973.
- JAWORSKI, E. J. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemistry Biophysical Res. Commun.**, v 43, n.6, p.1274-1279, 1971.
- JIAO, G.; BARABAS, N. R.; LIPS, S. H. Nitrate uptake, storage and reduction along the root axes of barley seedlings. In: MARTINS-LONCAO, M. A. (Ed.) **Nitrogen in a sustainable ecosystem from the cell to the plant**. Amsterdam: Kluwer, p.1-8, 2000.
- JULIANO B.O. Criteria and test for rice grain quality. In: JULIANO B.O. (Ed.). **Rice Chemistry and Technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, p. 443–513, 1985.
- KAMPEN, J.; BUDFORD, J. **Priorities for alleviating soil related constraints to food crop production in the tropics**. Manila: International Institute of Rural Reconstruction, p. 141-145,
- KANG, B.T. Alley cropping – soil productivity and nutrient recycling. **Forest ecology and Management**, Amsterdam, v. 91, n. 1, p. 7582, 1997.
- KANG, B.T.; GRIMME, H.; LAWSON, T. Alley cropping sequential cropped maize and cowpea with *Leucaena* on a sandy soil in Southern Nigeria. **Plant and Soil**, v.85, p.267-277, 1995.
- KANG, B.T.; REYNOLDS, L.; ATTAKRAH, A.N. Alley Farming. **Advances in Agronomy**, New York, v. 43, p. 315-359, 1990.
- KANG, B.T.; WILSON, G.F.; LAWSON, T.L. Alley cropping: **a stable alternative to shifting cultivation**. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, 1984. 16p.
- KASS, D.; BARRANTES, W.; CAMPOS, W.; JIMÉNEZ, M.; SÁNCHEZ, J. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones (alley cropping), en “La Montaña”, **Turrialba**. El Chasqui, v.19, p.5-24, 1989.
- KAYA, B.; Nair, P.K.R. Soil fertility and crop yields under improved fallow systems in southern Mali. **Agroforestry Systems**, The Netherlands, v. 52, p. 111, 2001.
- KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, Kidlington Oxford, v. 80, n. 4, p. 589-596, 2003.
- KHUSH, G. Chair’s introduction in rice biotechnology: improving yield, stress tolerance and grain quality. Novartis Foundation Symp. **J. A. and Chadwick**, Chichester: Wiley, p.11-12. 2001.
- KLEINMAN, P.J.A.; PIMENTEL, D.; BRYANT, R.B. The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture. **Agric. Ecosyst. Environ.** v.52, n. 2-3/ 235-249, 1995.
- KOECH, E.K.; WHITBREAD, R. Disease incidence and severity on beans in alleys between leucaena hedgerows in Kenya. **Agroforestry Systems**, v.49, p.85-101, 2000.
- KRAMER, T. Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivus* L.) **Euphytica**, v.26, p.209-218, 1979.
- LAM, H.M.; CHIAO, Y.A.; LI, M.W.; YUNG, Y.K. & JI, S. Putative nitrogen sensing systems in higher plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 48, p. 873-888. 2006.
- LATHWELL, D. J.; BOULDIN, D. R. Soil organic matter and soil nitrogen behaviour in cropped soils. **Tropical Agriculture**, v.58, p.341-348, 1981.

- LAZOF, D.B.; RINCON, M.; RUFTY, T.W. Aluminum accumulation and associated effects on 15NO_3 influx in roots of two soybean genotypes differing in Al tolerance. **Plant and Soil**, v.164, p.291-297, 1994.
- LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Nitrogen use efficiency. Uptake of nitrogen from the soil. **Annals of Applied Biology**, v.149, n.3, p.243-247, 2006.
- LEA, P.J. Nitrogen metabolism. In: LEA, P.J., LEEGOOD, R.C. **Plant biochemistry and molecular biology**. Chichester:John Wiley and Sons, c.7, p.155-180. 1993.
- LOPES, S.I.G.; LOPES, M.S.; MACEDO, V.R.M. Curva de resposta à aplicação de nitrogênio para quatro genótipos de arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.49, p. 3-6. 1996.
- LOPES, S. I. G.; WOLKWEISS, S. J.; TEDESCO, M. J. Desenvolvimento do sistema radicular do arroz irrigado. **R. Bras. de Ci. Solo**. Campinas, v.18. 1994. p.273-278.
- LUIZÃO, R. C. C.; BONDE, T. A.; ROSSWALL, T. Seasonal variation of soil microbial biomass – the effects of clear-felling a tropical rainforest and establishment of pasture in the central Amazon. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, V. 24, n. 8, p. 805-813. 1992.
- MACDICKEN, K.G.; Vergara, N.T. **Agroforestry: classification and management**. New York: John Wiley, 1990. 382 p.
- MACGRANTH, D.G. The role of biomass in shifting cultivation. **Hum. Ecol.**, v.15, n. 2, p.221-241, 1987.
- MACHADO, J. R. **Desenvolvimento da planta e produtividade de grãos de populações de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por inundação em função de épocas de cultivo**. 1994. 237f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista,
- MAFRA, A.L.; MIKLÓS, A.A.W.; VOCURCA, H.L.; HARKALY, A.H.; MENDOZA, E. Produção de fitomassa e atributos químicos do solo sob cultivo em aléias e sob vegetação nativa de cerrado. **R. Brás. de Ci. do Solo**, Campinas.v.22, p.43-48, 1998.
- MAGALHÃES JR. A.M. de **Recursos genéticos de arroz (*Oryza sativa* L.) no Sul do Brasil**. 2007, 160f. Tese (Doutorado em Ciências - Fitomelhoramento). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, 2007.
- MAGALHÃES JR. A.M. de; FAGUNDES, P.R.; FRANCO, D.F. Melhoramento genético, biotecnologia e cultivares de arroz irrigado. In: MAGALHÃES JR. de, A.M.; GOMES, A. da S. **Arroz irrigado: melhoramento genético, manejo do solo e da água e prognóstico climático**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, p.13-33, 2003. (Embrapa Clima Temperado: Documentos, 113).
- MAGALHÃES JR. A.M. de; TERRES, A.L.; FAGUNDES, P.R.; FRANCO, D.F.; ANDRES, A. Aspectos genéticos, morfológicos e de desenvolvimento de plantas de arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JR. de, A.M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.143-160, 2004.
- MAGALHÃES, J.V. **Absorção e tanslocação de nitrogênio por plantas de milho (*Zea mays*) submetidas a períodos crescentes de omissão de fósforo na solução nutritiva**. 1996, 76f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 1996.
- MALAVOLTA, E. KLIEMANN, H. J. **Desordens nutricionais no cerrado**. Piracicaba: Potafos, 1985. 136p.

- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro**. 2 ed. São Paulo, Ultrafertil, 1981. 40p.
- MALAVOLTA, E.; FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M. E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. (Ed.). **Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato, p.95-140. 1983.
- MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba: nitrogen in rice (*Oryza sativa* L.). **J Exp Bot** , v.58, p.2319–2327, 2007.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MAPAONA, S.Y.; KITOU, M. Yield response of cabbage to several tropical green manure legumes incorporated into soil. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.40, p.415-424, 1994.
- MARCHEZAN, E. Aspectos práticos e desafios para altas produtividades na lavoura de arroz irrigado. In: **Arroz irrigado, uso intensivo e sustentável de várzeas**. Santa Maria: Aldeia Norte, p.5-18. 2002.
- MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2005. 439p.
- MARGIS, M.P. **A biotecnologia na agricultura: o melhoramento genético do arroz**. Conselho de Informações sobre Biotecnologia - CIB Disponível em: http://www.cib.org.br/pdf/biotecnologia_na_agricultura_marcia_margis.pdf acesso em .
- MARIOT, M.P. et al. Dissimilaridade entre genótipos de *Maytenus ilicifolia* (espinheira-santa) de uma população do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2., 2003, Porto Seguro, BA. **Anais...** Porto Seguro : Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2003. 1 CD-ROM.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2ª ed.. New York, Academic Press, 1995. 874p.
- MARTIN, J. P. Decomposition of ¹⁴C-labelled lignins, model humic acid polymers, and fungal melanins in allophanic soil. **Soil Biol. Biochem.**, v.14, p.289-293, 1982.
- MARTINELLI, L. A. Element interactions in Brazilian landscapes as influenced by human interventions. In: MELILLO, J. FIELD, C. B; MOLDAN, B. (Ed). **Scope 60: Interactions of the major biogeochemical cycles: Global change and human impacts**. S.P: Islands Press, p 193-210. 2003.
- MARTINS, M.C.M. **Ecofisiologia do uso de reservas de carbono e nitrogênio ao longo do ciclo de vida de *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Lee & Lang)**. 2007. 140f. Dissertação (Mestrado em Botânica).- Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo. 2007.
- MARTINS, P.A.; FERRAZ JR., A.S. de L.; FILHO, M.R. da S.; ANJOS, O. dos; MUNIZ, L.C. Produção de dois genótipos de milho em aléias de leguminosas. **Rev. Bras. de Agroecologia**, v.1, n1, pg 1195- 1198, 2006.
- MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; REISDORFCREN, M.; ORSEL, M. Leaf Nitrogen Remobilization for plant development and grain filling. **Plant Biology**, v.10, p. 23-36, 2008.
- MATTA-MACHADO, R.P.; NIELY, C.L.; CABRERA, M.L. Plant residue decomposition and nitrogen dynamic in an alley cropping and annual legume-based cropping system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, p.3365-3378, 1994.

- MATTSSON, M.; SCHJOERRING, J.K. Dynamic and steady-state responses of inorganic nitrogen pool and NH₃ exchange in leaves of *Lolium perenne* and *Bromus erectus* to changes in root nitrogen supply. **Plant Physiology** v. 128, p. 742-750, 2002.
- McDONALD, M.A.; STEVENS, P.A.; HEALEY, J.R. Soil fertility under *Calliandra calothyrsus* hedgerows and other land-use treatments following forest clearance in Jamaica. **Agroforestry Systems**, v.57, p.127-135, 2003.
- MENDONÇA SANTOS, M. L de. **Estudos dos mecanismos de tolerância ao Alumínio e sua variabilidade genotípica em arroz (*Oryza sativa* L.)** 1991, 144f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-Rio de Janeiro, 1991.
- MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant Soil**. Dordrecht, v.181. p.83-93. 1996.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A.. **Principles of plant nutrition**. London: Kluwer Academic, 2001. 849p.
- MESQUITA, M. L. R. **Germoplasma de arroz (*Oryza sativa* L) coletado na microrregião da Baixada ocidental Maranhense**. São Luís, EMAPA, 1984, 12p. (EMAPA, documento 3). Mineral de Plantas. Viçosa:Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 432p., Viçosa, 2006.
- MORAES, J.F.V. Solos. In: VIEIRA, N.R.A.; DOS SANTOS, A.B. e SANT'ANA, E.P (Eds). **A Cultura do arroz no Brasil**. ed. EMBRAPA. Santo Antônio de Goiás. Cap. 4, p.89-116, 1999.
- MORAN, E. F. **Adaptabilidade Humana: uma introdução à antropologia ecológica**. São Paulo: EDUSP, 1994, 445p.
- MOURA, E.G.; MOURA, N.G.; MARQUES, E.S.; PINHEIRO, K.M.; COSTA SOBRINHO, J.R.S.; AGUIAR, A.C.F. Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. **Soil Use and Management**, v.25, p.368-375, 2009.
- MOURA, E.G. **Atributos de fertilidade de um Podzólico Vermelho Amarelo da formação Itapecuru limitantes da produtividade do milho**. 1995, 91f. Tese (Doutorado em Irrigação) - Universidade Estadual Paulista. Botucatu, São Paulo. 1995.
- MOURA, E.G. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In: MOURA, E.G. (Ed.). **Agroambientes de transição: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 2004. Cap.1, p. 15-51.
- MOURA, E.G.; VIEIRA, S.R.; CARVALHO, A.M. Avaliação da capacidade de aeração e de água disponível dos solos de duas transeções na baixada maranhense. **R. Bras. de Ci. do Solo**, v.16, p.7-18, 1992.
- MURPHY, A. T. ; LEWIS, O. A. M. Effect of nitrogen feeding source on the supply of nitrogen from root to shoot and the site of nitrogen assimilation in maize (*Zea mays* L. cv R201). **The New Phytologist**, v.107, p.327-333. 1987.
- MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I. U. N.; BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: WOOPER, P. L.; SWIFT, M. J., (Ed.) **The Biological Management of tropical soil fertility**, New York: John Wiley and Sons, cap. 5, p. 81-116, 1994.
- NAIR, P.K.R. **Soil productivity aspects of agroforestry**. Science and practice of Agroforestry In: INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY, 1. Nairobi: ICRAF, 1984, 94p.

- NAMBIAR, P.T.C.; REGO, T.J.; RAO, B.S. Nitrate concentration and nitrate reductase activity in the leaves of three legumes and three cereals. **Ann. Appl. Biol.**, v.112, p.547- 553, 1988.
- NARDOTO, G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. S. KLING, C. A. Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna áreas of central Brazil and impacts of fire. **Journal of Tropical Ecologic**, v.22, n.2, p.191-201, 2006.
- NARDOTO, G.B.; BUSTAMANTE, M.M.C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília v.38, p.955-962, 2003.
- NEILL, C.; MELLILO, J.M; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C.; MORAES, F. L.; PICCOLO, M. C.; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks followings forest clearing for pasture in the southern Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, Washington, v.7, p.1216-1225. 1997.
- NORMAN, M. J. T.; WETSELAAR, R. Losses of nitrogen on burning native pasture in KATHERINE, N. T. **Journal of the Australian Institute of Agricultural Science**, v. 26, p.272-273. 1960.
- NUTMAN, P. S. IBP field experiments on nitrogen fixation by nodulated legumes. In: NUTMAN, R. S. **Simbiotic nitrogen fixation in plants, IPR synthesis**. Cambridge, Cambridge University Press, v.7, p.211-217, 1976.
- OAKS, A. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. **Canadian Journal of Botany**. v.72, p. 739-746. 1994.
- OAKS, A., HIREL, B. Nitrogen metabolism in roots. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.36, p. 345-365. 1985.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. MARCIANO, C. R., MORAES, S. O. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de açúcar. **Scientia Agrícola**, v.58, n.91, p 171-180, 2001
- OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; FIGUEIREDO, M.S. & REGAZZI, A.J. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro Latossolos Brasileiros. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 20, p.509-515. 1996.
- PADGETT, P.E., LEONARD, R.T. Free amino acid levels and the regulation of nitrate uptake in maize cell suspension cultures. **J. Exp. Bot.**v 47,p.871–883.1996.
- PALADA, M.C.; KANG, B.T.; CLAASSEN, S.L. Effect of alley cropping with *Leucaena leucocephala* and fertilizer application on yield of vegetable crops. **Agroforestry Systems**, v.19, p.139-147, 1992.
- PALM, C.A.; GILLER, K.E.; MAFONGOYA, P.L.; SWIFT, M.J. Management of organic matter in the tropics: translating theory into practice. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.61, p.63-75, 2001.
- PARSONS, R.; SUNLY, R. J. Nitrogen nutrition and the role of root-shoot nitrogen signaling particularly in symbiotic systems. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v.52, p.435-443, 2000.
- PERDOMO, M. A.; GONZALEZ, J.; GALVIS, C. de; GARCIA, E.; ARREGOCÉS, O. Los macronutrientes en la nutrición de la planta de arroz. In: TASCON, J. E., GARCIA, D. E. (Ed.). **Arroz: investigación y producción**. Cali: CIAT, 1985. p.103-132.

- PEREIRA, J.A. **Cultura de Arroz no Brasil: Subsídios para a sua história**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 226p. 2002.
- PEREIRA-SILVA, E. F. L., JOLY, C. A. E AIDAR M. P. M.. Relações entre precipitação, pulso de nitrogênio no solo e o transporte e uso do nitrato por espécies arbóreas de floresta ombrófila densa submontana, Parque Estadual de Carlos Botelho, SP. **Anais VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL**, Caxambu – MG, p.1-2. 2007.
- PEREZ, C. M.; CAGAMPANG, G. B.; ESMANA, B. V. MONSERRATE, R.V. ; JULIANO, B. O. Protein metabolism in leaves and developing grains of reices differing in grain protein content. **Plant Physiol**, v.54, p.537-542, 1973.
- PERONI, N. Agricultura de Pescadores. In BEGOSSI A. (org.) **Ecologia de Pescadores da Mata Atlântica e da Amazônia**. São Paulo: Hucitec: Nepam/Unicamp: Nupaub/USP: Fapesp, 2004.
- PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Net mineralization and net nitrification along atropical forest-to-pasture chronosequence. **Plant and soil**, v. 28, n. 2, p. 61-70. 1994.
- PURCINO, A.A.C., MAGNAVACA, R., MACHADO, A.T., MARRIEL, I.E. 1994. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.6, n.1, p.41-46, 1994.
- QUINTON, J.; RODRIGUEZ, F. Impact of live barriers on soil erosion in the Pairumani Sub-cachment, Bolivia. **Mountain Research and Development**, v.19, p.292-299, 1999.
- RADERSMA, S., OTIENO, H., ATTA-KRAH, A.N., NIANG, A.I. System performance analysis of an alley-cropping system in western Kenya and its explanation by nutrient balances and uptake processes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.46, p.664-653, 2004.
- RADERSMA, S.; OTIENO, H.; ATTA-KRAH, A. N.; NIANG, A. I. System performance analysis of an alley-cropping system in Western Kenya and its explanation by nutrient balances and uptake processes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 631-652, 2004.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, 2001. 285p.
- RANA, S.V.S., CHAUDHARY, N. AND VERMA, Y. Circadian variation in lipid peroxidation induced by benzene in rat. **J. Exp. Biol.**, Indian, v.45, p.253-7. 2007.
- RAVEN, P.H., EVERT, R.F., EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 5 ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, RJ. 728p, 1996.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J. ; GATIBONI, L.C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ci. Rural**, 33:1053-1059, 2003.
- RENTSCH, D., SCHMIDT, S., TEGEDER, M. Transporters for uptake and allocation of organic nitrogen compounds in plants. **FEBS Letters**, v. 581, p.2281-228. 2007.
- RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J.; RODIGHERI, H. R. Sistemas agroflorestais: aspectos ambientais e socioeconômicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 61-67, 2001.

- RILEY, J.; SMYTH, S. A study of alley-cropping data from Northern Brazil. I. Distribucional properties. **Agroforestry Systems**, v.22, p.241-258, 1993.
- RODRIGUES, F. de S. **Absorção e compartimentalização do Nitrogênio em plantas de arroz submetidas ao fluxo sazonal de NO₃⁻**. 2005, 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, Rio de Janeiro. 2005.
- RODRIGUES, F. S., SOUZA, S. R. DE, RODRIGUES, F. S. E FERNANDES, M. S. Nitrogen metabolism in rice cultivated under seasonal flush of nitrate. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v.27, n.3, p.395-409, 2004.
- RODRIGUES, F. de S.; GRAZINOLI-GARRIDO, R. Fluxo Sazonal de NO₃⁻ no Trópico Úmido. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Garças, Ano IV, n. 8, p. 01-09, 2005.
- ROSSO, A. **Manejo de cultura de cobertura do solo no inverno e sua relação com a *Strigosa Schreb.* em áreas sob manejo agroflorestal em aléias com *Leucaena diversifolia***. 2003. 88f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.
- ROSSO, J. C. **Avaliação do consumo de água em lavouras de arroz irrigado no sistema pré-germinado nas condições climáticas do sul catarinense**. 2007, 64f. Dissertação (Mestrado em Ciências ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2007.
- ROWE, E.C.; CADISCH, G. Implications of heterogeneity on procedures for estimating plant 15N recovery in hedgerow intercrop systems. **Agroforestry Systems**, v.54, p.61-70, 2002.
- ROWE, E.C.; VAN NOORDWIJK, M.; SUPRAYOGO, D.; HAIRIAH, K.; GILLER, K.E.; CADISCH, G. Root distributions partially explain 15N uptake patterns in *Gliricidia* and *Peltophorum* hedgerow systems. **Plant and Soil**, v.235, p.167-179, 2001.
- RUSSELLE, M.P. Nutrient cycling in pasture. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p.235-266. 1997.
- SÁ, J. C. M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais e estratégias de fertilização para produção de grãos no sistema de plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE PLANTIO DIRETO DA UFV, **Resumos**, Viçosa, 1998. Viçosa: UFV, p. 20-61, 1998.
- SAEG: **Sistema para análises estatísticas**. Versão 8.0. Viçosa: UFV, 2007.
- SANCHEZ, P.A.. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. John Wiley and Sons, New York, USA. 618 p., 1976.
- SANTI, S.; LOCCI, G.; MONTE, R.; PINTON, R.; VARANINI, Z. Induction of nitrate uptake in maize roots: expression of a putative high-affinity nitrate transporter and plasma membrane H⁺-ATPase isoforms. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 389, p. 1851-1864, 2003.
- SANTOS, A. M. dos; BUCHER, C. A.; STARK, E. M. L. M.; SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S.; Efeito da disponibilidade de nitrato em solução nutritiva sobre a absorção de nitrogênio e atividade enzimática de duas cultivares de arroz. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.1, p.215-220, 2009.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. de (editores técnicos). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006, 306p.

SANTOS, L. A. **Absorção e Remobilização de NO_3^- em arroz (*Oryza sativa* L.): atividade das bombas de prótons e a dinâmica do processo**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Serópédica, Rio de Janeiro, 2006.

SARAVITZ, C.H., F.; DEVIENNE-BARRET, C.D.; RAPER, S. C.; LAMAZE, T. Nitrate uptake rate by soybean and wheat plants determined by external nitrate concentration and shoot-mediated demand. **Int. J. Plant Sci.**, v. 159, p. 305–312.

SCHIMANN, H.; PONTON, S.; HATTENSCHWILER, S.; FERRY, B.; LENSİ, R.; DOMENACH, A.M.; ROGGY, J.C. Differing nitrogen use strategies of two tropical rainforest late successional tree species in French Guiana: Evidence from ^{15}N natural abundance and microbial activities. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 40, p. 487–494. 2008.

SCHMIDT, S.; STEWART, G.R. Transport, storage and mobilization of nitrogen by trees and shrubs in the wet/dry tropics of northern Australia. **Tree Physiology**. v. 18, p.403-410. 1998.

SCHROTH, G.; LEHMANN, J. Contrasting effects of roots and mulch from three agroforestry tree species on yields of alley cropped maize. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.54, p.89 - 101, 1995.

SCIVITTARO, W.B.; MACHADO, M.O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de. (Ed.). **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.259-303. 2004.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M.; RUTH, T. J.; RUFTY, T. Studies of the uptake of nitrate in barley: I. Kinetics of $^{13}\text{NO}_3^-$ influx. **Plant Physiology**, v.93, p.1426-1432, 1990.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A.D. M.; RUTH, T. J.; FERNANDO, M. Studies of the regulation of nitrate influx by barley seedlings using $^{13}\text{NO}_3^-$. **Plant Physiol.** v.90, p.806-826. 1989.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **R. Bras Ci Solo**, v.21, p.313-319, 1997.

SILVA, L.M.V.; PASQUAL, A. Dinâmica e modelagem da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **Ener. Agric.**, v.14, p.13-24, 1999.

SILVA, M.V. Elementos para a história do arroz no Brasil. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.4, n.39, p.19-23, 1950.

SILVEIRA, J. A. G. da, MACHADO, E. C. Mobilização de nitrogênio e de carboidratos durante o desenvolvimento de panículas de duas cultivares de arroz. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 2, p. 37-46, 1990.

SMIRNOFF, N.; TOOD, P.; STEWART, G.R. The occurrence of nitrate reduction in the leaves of woody plants. **Annual Botanical**, v.54, p.363-374. 1984.

SODEK, L. Metabolismo do nitrogênio. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Guanabara Koogan, 2004. 252 p.

SONODA, Y.; IKEDA, A.; SAIKI, S.; von WIRÉN, N.; YAMAYA, T.; YAMAGUCHI, J. Distinct expression and function of three ammonium transporter genes (*OsAMT1;1-1;3*) in rice. **Plant Cell Physiology**, v.44, p.726–734, 2003.

SONODA, Y.; IKEDA, A.; SAIKI, S.; VON WIRÉN, N.; YAMAYA, T.; YAMAGUCHI, J. Distinct expression and function of three ammonium transporter genes (*OsAMT1;1-1;3*) in rice. **Plant Cell Physiology**, v.44, p.726-734, 2003.

SOSBAI, M. **Arroz Irrigado: Recomendações da pesquisa para o Sul do Brasil**. Santa Maria, p 89-92. 2005

SOTO PINTO, L.; PERFECTO, I.; HERNANDEZ, C. J.; NIETO C.J. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. **Agriculture, Ecosystems & Environment** . v.80, p.61-69. 2000.

SOUZA, S. R. **Efeito da Aplicação Foliar de Nitrogênio Pós-Antese Sobre as Enzimas de Assimilação de N e Acúmulo de Proteína em Grãos de Arroz** . 1995. 178f. Tese (Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro,1995.

SOUSA, S. R.; STARCK, E.M.L.M.; FERNANDES, M.S. Teores e qualidade das proteínas de reservas do arroz em função de aplicação suplementar de N. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.28, n.5, p.575-583. 1993.

SOUZA, S. R.; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S. Nitrogen remobilization during the reproductive period in two Brazilian rice varieties. **Journal of Plant Nutrition**, n. 21, p.10, p.2049-2063, 1998.

SOUZA, S. R.; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S. Effects of supplemental- nitrogen on the quality of rice proteins. **Journal of Plant Nutrition**, n. 16, v. 9, p.1739-1751, 1993.

SOUZA, S. R.; STARK, E. M. L. M.; FERNANDES, M. S.; MAGALHÃES, J. R. Effects of supplemental nitrogen on nitrogen-assimilation enzymes, Free amino nitrogen, soluble sugars, and crude protein of rice. **Commun. Soil. Sci. Plant Anal**, Boca Raton, v.30, n. 56, p. 711-724, 1999.

SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. Nitrogen acquisition by plants in a sustainable environment. In: SINGH, R.P.; JAIWAL, P.K. (Ed.). **Biotechnological Approaches to Improve Nitrogen Use Efficiency in Plants**. Houston, Texas: Studium Press, 2006. p.41-62.

SOUZA, V. M. de ; SANTOS, L. A. ; SOUZA, S. R. de; RANGEL, R.P. ; FERREIRA, L. M.; FERNANDES, M. S. Expressão gênica dos transportadores *OsAMT1* em raízes de diferentes variedades de arroz. In: XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, XIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas, XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo e VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo. **Anais....2010**. Guarapari, ES. 2010.

STAMFORD, N. P.; ORTEGA, A. D.; TEMPRANO, F.; SANTOS, D. R. Effects of phosphorus fertilization and inoculation of *Bradyrhizobium* and mycorrhizal fungi on growth of *Mimosa caesalpiniaefolia* in an acid soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 29, p. 959-964, 1997.

STEINMETZ, S. E MEIRELES, E.J.L. CLIMA. IN: VIEIRA, N.R.A; DOS SANTOS, A.B e SANT'ANA, E.P. (Eds). **A Cultura do arroz no Brasil**. ed. EMBRAPA. Santo Antônio de Goiás.Cap. 3, p.59-88, 1999.

STEPPLER, H.A.; NAIR, P.K.R. **Agroforestry: a decade of development**. Nairobi: International Council for Research in Agroforestry. 1987. 60 p.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 380p.

- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2ed. New York: John Wiley & Sons, 1994, 406p.
- STEWART G.R., PATE J.S.; UNKOVICH M. Characteristics of inorganic nitrogen assimilation of plants in fire-prone Mediterranean type vegetation. **Plant, Cell and Environment**. v.16, p.351-363. 1993.
- TABUCHI, M.; ABIKO, T.; YAMAYA, T. Assimilation of ammonium ions and reutilization of nitrogen in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, v.58, n.9, p.2319–2327, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**, Redwood City, California. The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1991. 559p.
- TANGYA; YAN-ZHOU, Z.; JIA-SUI, X.; HUI, S. Incorporation of mulberry in contour hedgerows to increase overall benefits: a case study from Ningnan County, Shuan Province, China. **Agricultural Systems**, v.76, p.775-785, 2003.
- TEDESCO, J. M.; GIANELLO, C.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1998. 174p.
- TERRES, A.L.; GALLI, J.; FAGUNDES, P.R.R.; MACHADO, M.O.; MAGALHÃES JR., A.M. DE; MARTINS, J.F.; NUNES, C.D.M.; FRANCO, D.F.; AZAMBUJA, I.H.V. **Arroz irrigado no Rio Grande do Sul: generalidades e cultivares**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1998. 58p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 14).
- TESTA, V. M. **Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de culturas**. Porto Alegre, 1989, 134p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- TESTA, V.M.; TEIXEIRA, L.A.J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um Podzólico Vermelho-Escuro afetadas por sistemas de cultura. **Rev Bras Ci Solo**, v.16, p.107-114, 1992.
- TIESSEN, H.; CUEVAS, Z.; CHACON, P. The role of soil organic matter stability in soil fertility and agriculture potential. **Nature**, v. 371, p.783-785, 1994.
- TILMAN, D.; FARGIONE, J.; WOLFF, B.; D'ANTONIO, C.; DOBSON, A.; HOWARTH, R.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W. H.; SIMBERLOFF, D.; SWACKHAMER, D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. **Science**, Washington, v. 292, p.282-284, 2001.
- TISCHNER, R. Nitrate uptake and reduction in higher and lower plants. **Plant, Cell and Environment**. v. 23, p.1005-1024. 2000.
- TISCHNER, R.; PEUKE, A.; GODBOLD, D.L. The effect of NO₂⁻ fumigation on aseptically grown spruce seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v.113, p.243-246. 1988.
- TOURAINÉ, B., GLASS, A.D.M. NO₃⁻ and ClO₃⁻ fluxes in the chl 1-5 mutant of *Arabidopsis thaliana*. **Plant Physiology**, Lancaster, v.114, p.137-144, 1997.
- TURLEY, R. R.; CHING, T. M. Storage protein accumulation in “Scio” barley seed as affected by late foliar applications of nitrogen. **Crop Sci.**, v. 26, p.778-782, 1986.

- ULLRICH, W.R. Nitrate and ammonium uptake in green algae and higher plants: mechanism and relationship with nitrate metabolism. In : ULLRICH, W. R. ; APARICIO, P. J.; SYRETT, P. J. (Ed) **Inorganic nitrogen metabolism**. New York: Springer, 1987. p.32-38.
- URQUIAGA, S.; BODDEY, R M.; ALVES, B.J.R. Dinâmica do N no solo In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE N EM PLANTAS. **Anais....** 1993, p. 127-167. Rio de Janeiro, RJ.
- VAHL, L. C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A. S.; PAULETTO, E.A. (eds.) **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 119-162
- VANLAUWE, B.; GACHENGO, K.; SHEPHERD, E.; BARRIOS, G.; CADISCH, G.; PALM, C.A. Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, p.1135-1145, 2005.
- VANOTTI, M.B.; BUNDY, L.G. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.7, n.2, p.243-249, 1994.
- VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras Ci Solo**, v.24, p.35-42, 2000.
- VASEY, D. E. An Ecological History of agriculture: 10.000 B.C. – A.D. 10.000. Iowa State University Press/Ames, Iowa, 363p., 1992.
- VAUGHAN, D.A.; CHANG, T.T. Collecting the rice gene pool. In: GUARINO, L.; RAMANATHA RAO, V.; REID, R. **Collecting plant genetic diversity – Technical Guidelines**. CAB International, Wallingford, UK, 1995. p. 659-675.
- VAUGHN, K.C.; CAMPBELL, W.G. Immunogold localization of nitrate reductase in maize leaves. **Plant Physiol.**, v.88, p.1354-1357, 1988.
- VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; FANTE, L.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C.C. Root systems and soil microbial biomass under no tillage system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 529-537. 2004.
- VERCHOT, L. V.; DAVIDSON, E. A.; CATTANIO, J. H.; ACKERMAN, I. L.; ERICKSON, H. E.; KELLER, M. Land-use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. **Global Biogeochemical**, v. 13, p. 31–46. 1999.
- VERDADE, F. C. Estudo da variabilidade dos nitratos num solo tipo Terra Roxa-Misturada. **Bragantia**, Campinas, v.11, p.169-276, 1951.
- VINCENTZ, M.; MOUREAUX, T.; LEYDECKER, M.T. et al. Regulation of nitrate and nitrite reductase expression in *Nicotiana plumbaginifolia* leaves by nitrogen and carbon metabolites. **The Plant Journal**, v.3, p.313-324, 1993.
- VITOUSEK, P. M. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. **Ecology**, Durham, v. 65, n. 1, p. 285-298, 1984.
- VITOUSEK, P.M., CASSMAN, K.; CLEVELAND, C., CREWS, T., FIELD, C.B., GIMM, N.B., HOWARTH, R.W., MARINO, R., MARTINELLI, L., RASTETTER, E.B., SPRENT, J.I. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 57, n. 1, p. 1-45. 2002.
- VITOUSEK, P.M.; HOWARTH, R.W. Nitrogen limitation on land and sea: how can it occur. **Biogeochemistry**. v.13, p.87-115. 1991.

- VON WIRÉN, N.; GAZZARRINI, S.; FROMMER, W.B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. **Plant and Soil**, The Hague, v.196, p.191-199, 1997.
- VOSE, P.B.. Plant nutrition relationships at the wholeplant level. In: BALIGAR V.C.; DUNCAN, R.R. V.C. (eds.). Crops as enhancers of nutrient use. **Academic Press**, San Diego, p. 65-80. 1990.
- WADA, G.; SHOJI, S.; MAE, T. Relationship between nitrogen absorption and growth and yield of rice plants. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tsukuba, v.20, n.2, p.135-145, 1986.
- WETSEELAR, R. Capillary movement of nitrate towards tropical soil surfaces. **Nature**, v.186, p.572-573, 1970.
- WETSEELAR, R. Nitrate distribution in tropical soils. I. Possible cause of nitrate accumulation near the surface after a long dry period. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.15, p.110-120, 1961a.
- WETSELAAR, R. Nitrate distribution in tropical soils. II. Extent of capillary accumulation of nitrate during a long dry period. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.15, p.121-133, 1961b.
- WIENDENROTH, E.M. Responses of roots to hypoxia: their structural and energy relations with the whole plant. **Environmental and Experimental Botany**, v. 33, p. 41-51, 1993.
- WILLIAMS, L.E.; MILLER, A.J. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** v.52, p.659-688. 2001.
- YAMOAH, C.F.; AGBOOLA, A.A.; WILSON, G.F. Nutrient contribution and maize performance in alley cropping. **Agroforestry Systems**, v.4, p.239-246, 1986.
- YEMM, E.W.; COCKING, E.C. The determination of amino-acid with ninhydrin. **Analytical Biochemistry**, v. 80, p.209-213, 1955.
- YEMM, E.W.; WILLIS, A.I. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochem. J.**, London, UK, v.57, p.508-514, 1957.
- YOKOHAMA, L.P.; RUCATTI, E.G.; KLUTHCOUSKI, J. Economia da Produção: Conjuntura, Mercado e Custos. In: **A Cultura do arroz no Brasil**. Ed. EMBRAPA. Santo Antônio de Goiás. Cap. 2, p. 37-58, 1999.
- ZARAHARAH, A.R.; BAH, A.R.; MWANGE, N.K.; KATHULI, P.; JUMA, P. Management of gliricidia (*Gliricidia sepium*) residues for improved sweet corn yield in an Ultisol. **Nutrient Cycling Agroecosystems**, v.54, p.31-39, 1999.
- ZONTA, E. **Caracterização fisiológica de resposta à adubação nitrogenada em duas cultivares de arroz**. UFRRJ, 1996. 202f. Tese de Doutorado (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo)- Universidade Federal Rural de Pernambuco. Seropédica, RJ, 1996.
- ZOTARELLI, L. **Balço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina – PR**. 2000, 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.